

YHDYSKUNTATEKNIIKAN LAITOS

**Työn ohjaaja:** Dipl.ins., LuK. Hannu Huotari



**Tekijä:** Juha Määttä**Diplomityö:** Pohjavesialueen suojelusuunnitelman laatiminen**Päivämäärä:** 9.1.1995**Sivumäärä:** 131**Professuuri:** Vesihuoltotekniikka**Koodi:** Yhd-73**Työn valvoja:** prof. Risto Laukkanen**Työn ohjaaja:** dipl.ins., Luk. Hannu Huotari

Pohjavesialueen suojelusuunnitelma on työkalu pohjaveden suojelun suunnitteluun yhdyskuntien vedenhankinnan kannalta tärkeillä pohjavesialueilla. Sen etuja ovat kokonaisvaltaisuus, nopeus ja joustavuus toimintojen suunnittelussa. Pohjavesialueen suojelusuunnitelmassa esitetyillä suosituksilla ei ole oikeusvaikutuksia, vaan ne toimivat ohjeina kyseiselle pohjavesialueelle liittyvissä asioissa.

Pohjavesialueen suojelusuunnitelma käsittää seuraavat pääkohdat

- pohjavesialueen hydrologinen kartoitus
- vedenottamoalueiden ja suojavyöhykkeiden määrittely
- riskitekijöiden kartoitus ja arviointi
- toimenpiteet vahinkotapauksissa

Työn soveltavassa osassa laadittiin pohjavesialueen suojelusuunnitelma Kuhmon Multikankaalle. Alueen hydrogeologinen kartoitus perustuu vuosina 1980 - 1994 Multiknakaalla tehtyihin maaperätutkimuksiin, pohjavesipinnan mittauksiin ja veden laadun analyysihin. Aineistoa on käsitelty tilastomatematiikan avulla.

Aineiston käsittelystä saatujen tulosten perusteella merkittävimmäksi riskitekijäksi osoittautuivat pellot vedenottamoa ympäröivällä suoalueella. Pellot vaikuttavat sekä alentamalla pohjavesitasoa että nostamalla nitraattipitoisuuksia. Suuret jälkihoitamattomat maa-ainesten ottoalueet voivat vaikuttaa veden laatuun pitkällä aikavälillä. Muilla Multikankaan toiminnoilla ei ole vaikutusta vedenottamon veden laatuun. Vanha kaatopaikka ei uhkaa vedenottamon veden laatua, koska Multikankaan päävedenjakaja sijitsee kaatopaikan ja ottamon välissä.

Peltojen aiheuttamaa riskiä voidaan vähentää täyttämällä syvimmat sarkaojat sekä kesannoinnin tai metsittämisen avulla. Mahdollista on myös siirtää vedenottoaivot suon keskeltä Multikankaalle. Maa-ainesteen ottoon liittyvää riskiä voidaan pienentää asiallisilla suojakerroksilla ja maannoskerroksen tekemisellä hyödynnetyille alueille. Mahdollisten onnettomuustilanteiden varalle työssä on annettu suuntaa-antavia ohjeita.

Avainsanat: pohjavesialueen suojelusuunnitelma, pohjaveden suojelu, kaatopaikka, soran otto, maanviljely, ampumarata, dikloorimetaani



**Author:** Juha Määttä

**Thesis:** Working out of groundwater protection plan

**Date:** 9.1.1995

**Number of pages:** 131

**Pofessorship:** Laboratory of Sanitary and Environmental Engineering

**Code:** Yhd-73

**Supervisor:** Professor Risto Laukkanen

**Instructor:** M.Sc. (Eng.), B.Sc. Hannu Huotari

Groundwater protection plan is a planning tool to important groundwater areas. Actions are able to plan rapidly and flexibly with groundwater protection plan. Those recommendations which are in groundwater protection plan haven't legal effects.

The main parts of groundwater protection plan are

- adjustment of hydrogeology in groundwater area
- specification of groundwater protction zones
- inventory and characterisation of contaminantes
- actions in case of accidents

Theory information has applied in practice part of work. In the practice part there are groundwater protection plan for Multikangas esker aquifer in Kuhmo. The hydrogeology inventory of Multikangas based on examination of soil, measures of grounwater level and analytical results of groundwater quality. There are used statistics to make analyses from examination data.

Based on results from analyses of examination data, the most important risk to groundwater quality in Hetesuo wells is the function in fields. Large gravel and sand pit areas can lead to slowly effects in groundwater quality. From the other functions there are not any risk to groundwater quality or quantity. The old landfill doesn't effect to groundwater quality in Hetesuo because there is groundwater divide between them.

It is possible to minimize risks. Deep drains should fill and fields around wells can leave outside cultivation. It is possible to move the place of wells from Hetesuo to Multikangas too. In the bottom of gravel and sand pits should leave protection layers and make humus layer. In the end of work there has given some instructions for actions in case of possible accidents.

**Keywords:** Grounwater protection plan, grounwater pollution control, landfill, agriculture, shooting range, dichloromethane



## ALKUSANAT

Tämä tutkimus on tehty opinnäytteeksi Teknillisen korkeakoulun rakennus- ja maanmittaustekniikan osastolle.

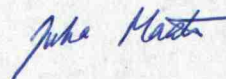
Diplomityön valvojana on toiminut professori Risto Laukkanen. Hän on myös tarkastanut työn. Tutkimusta on ohjannut dipl.ins., LuK. Hannu Huotari Kuhmon Kaupungilta. Kiitän heitä saamistani arvokkaista kommentteista ja neuvoista.

Tutkimustyö on tehty Kuhmon kaupungin yhdyskuntapalvelujen vastuualueella. Tutkimusaineiston keräämisessä ja kenttätutkimusten suorittamisessa olen saanut arvokasta apua Kuhmon kaupungin ja Kainuun vesi- ja ympäristöpiirin henkilökunnalta. Erityisesti haluan kiittää vesilaitoksen hoitaja Pertti Heikkistä, maarakennusmestari Matti Juntusta ja ympäristönsuojelusihteeri Kirsi Liukkosta Kuhmon kaupungilta sekä ylitarkastaja Heikki Kovalaista Kainuun vesi- ja ympäristöpiiristä.

Työn alkuvaiheessa sain apua Tapani Suomelalta Vesi- ja ympäristöhallituksesta, Jukka Ikäheimolta Maa ja Vesi Oy:stä sekä Unto Tantulta Tuusulan seudun vesilaitokselta. Kiitokset heille saamistani neuvoista ja ohjeista.

Kiitokset Kirstille kaikesta saamastani tuesta. Henriä haluan kiittää siitä, että järjestit kotona tekemistä työn vastapainoksi.

Kuhmossa 5.1.1995



Juha Määttä



# SISÄLLYS

Tiivistelmä	2
Abstract	3
Alkusanat	4
Sisällysluettelo	5
Johdanto	10
I Pohjavesialueen suojelusuunnitelman teoriaa	11
1. Yleistä pohjavesialueiden suojelusta	12
1.1 Pohjavesien suojelun perusteet	12
1.2 Pohjavesialueiden suojelusuunnitelma	13
1.2.1 Yleistä	13
1.2.2 Tarkoitus ja käyttö	13
1.3 Pohjaveden suojelun lainsäädäntö	15
1.3.1 Yleistä	15
1.3.2 Vesilaki	15
1.3.3 Maa-ainoslaki	16
1.3.4 Euroopan Unionin direktiivit	17
1.3.5 Muut säädökset	17
1.4 Pohjavesialueiden suojelu muissa maissa	18
2. Pohjavesialueiden hydrogeologinen kartoitus	19
2.1 Yleistä	19
2.2 Maaperätutkimukset	20
2.2.1 Yleistä	20
2.2.2 Kairaukset	20
2.2.3 Geofysikaaliset mittaukset	20



2.3 Havaintoputket	22
2.4 Maaperän luontaisten ominaisuuksien vaikutus veden laatuun	23
2.5 Pohjavesialueen mallintaminen	24
3. Suoja-alueiden rajaaminen	25
3.1 Yleistä	25
3.2 Vedenottamoalue	25
3.3 Lähisuojavähyhyke	26
3.4 Kaukosuojavähyhyke	26
4. Pohjaveden riskitekijät	27
4.1 Päästöriski	27
4.2 Sijaintiriski	27
4.3 Riskin suuruuden arviointi	27
4.4 Potentiaaliset pohjavesiriskit	28
4.4.1 Yleistä	28
4.4.2 Maa-ainesten ottaminen	30
4.4.2.1 Suojakerrospaksuudet	33
4.4.3 Kaatopaikat	35
4.4.4 Teollisuus	36
4.4.5 Maatalous	36
4.4.6 Tiet ja liikenne	37
4.4.7 Jätevedet	39
4.4.8 Ampumaradat	39
4.5 Lika-aineiden kulkeutuminen maaperässä	40
5. Suojelutoimenpiteet	42
5.1 Olemassaolevat toiminnot	42
5.2 Uudet toiminnot	43
5.3 Valvonta ja seuranta	43
5.4 Toimenpiteet vahinkotapauksissa	44
5.4.1 Puhdistusmenetelmät	44
5.4.2 Vastuu puhdistustoimenpiteistä	46



II Pohjavesialueen suojelusuunnitelma Kuhmon Multikankaalle	47
6. Alueen kuvaus	48
6.1 Yleiskuvaus	48
6.2 Esiintymän merkitys Kuhmon vedenhankinnalle	49
6.3 Pohjavesialueen suojelusuunnitelman tavoitteet	50
7. Hydrogeologinen kartoitus	51
7.1 Maa- ja kallioperätutkimukset	51
7.1.1 Yleistä	51
7.1.2 Kallioperä	51
7.1.3 Karkearakeiset maakerrokset	54
7.1.4 Tiiviit maakerrokset	55
7.2 Pohjaveden pinnankorkeudet	55
7.2.1 Havaintoaineisto	55
7.2.2 Aineiston käsittely	57
7.3 Pohjaveden laatu	62
7.3.1 Havaintoaineisto	62
7.3.1.1 Kaatopaikan ympäristön havaintoputket	63
7.3.1.2 Hetesuon vedenottamo ja havaintoputket	66
7.3.2 Aineiston käsittely	68
7.3.2.1 Parametrien muutokset ajan suhteen	68
7.3.2.2 Laatuparametrien keskinäinen korrelointi	70
7.3.3 Raskasmetallit	72
7.3.4 Orgaaniset kemialliset yhdisteet	73
7.4 Johtopäätökset aineiston käsittelystä	74
7.4.1 Hetesuon vedenottamon vaikutusalue	74
7.4.2 Kaatopaikan ympäristö	76
7.4.3 Orgaaniset kemialliset yhdisteet	77
7.4.3.1 Tolueeni	77
7.4.3.2 Kloroformi	78
7.4.3.3 Dikloorimetaani	78



8. Suojavyöhykkeet	81
8.1 Vedenottamoalue	81
8.2 Lähisuojavyöhyke	81
8.3 Kaukosuojavyöhyke	83
9. Riskitekijät Multikankaan pohjavesialueella	83
9.1 Yleistä	83
9.2 Kaatopaikka	84
9.3 Maa-ainesten ottaminen	86
9.4 Maantiet ja liikenne	90
9.5 Ampumaradat	91
9.6 Peltoviljely	92
9.7 Hetesuon alueen entinen käyttö	94
9.8 Kesäteatteri	96
9.9 Räjähdysainevarasto	96
9.10 Asutus	97
9.11 Ilmateitse tuleva laskeuma	97
9.12 Yhteenveto Multikankaan pohjavesiriskeistä	98
10. Pohjaveden suojaamistoimenpiteet	99
10.1 Kaatopaikka	99
10.2 Maa-ainesten ottaminen	100
10.3 Maantiet ja liikenne	102
10.4 Ampumaradat	103
10.5 Peltoviljely	104
10.6 Hetesuon alueen entinen käyttö	107
10.7 Kesäteatteri	107
10.8 Räjähdysainevarasto	108
10.9 Asutus	108
10.10 Ilmateitse tuleva laskeuma	108



11. Pohjaveden suojaamisesta aiheutuvat kustannukset	108
11.1 Kaatopaikka	108
11.2 Soranottoalueet	109
11.3 Hetesuon peltoalue	109
11.4 Maantien suojaaminen	110
12. Uusien toimintojen sijoittaminen alueelle	110
12.1 Soranottoalueiden sijoittaminen	111
12.2 Vanhojen maa-ainesten ottoalueiden tuleva käyttö	113
13. Alueen valvonta ja seuranta	115
13.1 Valvontalautakunta	115
13.2 Terveystarkastaja	116
13.3 Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri	116
14. Toimenpiteet vahinkotapauksissa	116
14.1 Yleistä	116
14.2 Vaarallisten aineiden kuljetukset	117
14.3 Öljyvahingot soranottoalueilla	118
14.4 Hetesuolla käsiteltävien aineiden onnettomuudet	119
15. Multikankaan jatkoseuranta ja -tutkimukset	120

## Liitteet



Tässä tutkimuksessa on aiheena pohjaveden suojeleminen ja siihen läheisesti kytkeytyvät kysymykset. Aiheen merkittävyys on yhteiskunnan tarpeista johtuen korostumassa niin paikallisesti kuin laajemmassakin mittakaavassa. Tämä työ liittyy läheisesti vesihuollon, hydrologian sekä maa- ja kallioperägeologian ajankohtaisiin teoreettisiin sekä käytännöllisiin kysymyksiin.

Työn lähtökohtana olevaksi viitekehikseksi on valittu teoreettisen tiedon nojalla hahmoteltu kuva talousvedeksi käytettävään pohjaveteen liittyvistä tärkeimmistä ilmiöistä ja luonnonlaeista. Tätä kuvaa on vielä täydennetty alaan liittyvällä normitiedolla ja riskianalyysin rakenteen sekä pohjaveden suojeleminen teorian mukaan ottamisella. Tämä tutkimus pohjautuu näin aikaisempiin alaa koskeviin tieteellisiin töihin ja niiden taustalla tai tuloksena olevaan teoriaan. Edellä tarkoitettussa viitekehyksessä on sitten valittu teemaksi pohjaveden suojeleminen suunnittelu ja sen uusimpana työkaluna oleva pohjavesialueen suojeleminen suunnitelma. Näihin sisältyvänä on tarkasteltu ja käsitelty konkreettisenä kohteena Kuhmon Multikangasta ja laadittu sille suojeleminen suunnitelma.

Pohjavesialueen suojeleminen suunnitelma Kuhmon Multikankaalle nojaa em. teorian tiedon lisäksi ennen tätä työtä hankittuun empiiriseen tietoaainekseen, sen uusilla tutkimustuloksilla täydentämiseen, näiden analysointiin ja johtopäätösten tekoon. Suunnitelmaan on sisällytetty myös joukko pohjaveden suojeleminen koskevia toimenpidesuosituksia.



## I POHJAVESIALUEEN SUOJELUSUUNNITELMAN TEORIAA



## 1. Yleistä pohjavesialueiden suojelusta

### 1.1 Pohjavesien suojelun perusteet

Pohjaveden käyttö yhdyskuntien talousveden raakavesilähteenä on viime vuosikymmeninä lisääntynyt ja tulee jatkossa yhä lisääntymään. Nykyisin yhdyskuntien vesilaitosten käyttämästä vedestä noin 53 % on pohjavettä ja osuuden ennustetaan nousevan vuoteen 2010 mennessä noin 70-75 %:iin (Hatva 1992). On odotettavissa, että vain muutama suurimmista kaupungeista Suomessa jää käyttämään pintavettä raakavetenään. Pintaveteen verrattuna pohjavedellä onkin runsaasti etuja, jotka puoltavat sen käyttöä. Vesi puhdistuu tehokkaasti suodattuessaan maan pinnalta pohjavedeksi ja maan sisällä pohjavesi on yleensä hyvin suojassa likaantumislta. Pohjaveden laatu onkin sekä bakteriologisesti että fysikaalis-kemiallisilta ominaisuuksiltaan yleensä parempaa kuin pintavesi. Toisaalta veden liikkeiden seuraaminen on pohjavesissä pintavesiä hankalampaa ja luontainen puhdistuminen karussa harjuakviferissä vähäistä. Lisäksi pintavesiin verrattuna pohjavesissä usein esiintyviä ongelmia ovat korkeat rauta- ja mangaanipitoisuudet sekä radonista johtuvat etenkin kallioperän pohjavedessä esiintyvät korkeat säteilyarvot.

Hidas yhdyskuntien kasvuvauhti ja samaan aikaan tapahtunut ominaiskulutuksen pieneneminen ovat siirtäneet huomion vedenhankinnassa määrään liittyvistä kysymyksistä veden laatuun. Sellaisilla vesilaitoksilla, joilla vedenhankinta on jo järjestetty pohjaveden varaan, raakavesilähteen veden laadun turvaaminen on eräs vedenhankinnan keskeisimmistä ongelmista. Tilanne on samanlainen myös kansainvälisesti. Teollisuusmaissa pohjaveden laadun suojaaminen on tärkein pohjavesiin liittyvä ongelma ja kehitysmaissa sen merkitys kasvaa sitä mukaa, kun vesihuolto saadaan järjestettyä (Villarroya 1994).

Likaantuneen pohjaveden puhdistaminen on työläs ja kallis toimenpide. Usein se on teknis-taloudellisesti mahdoton toteuttaa. Käytännössä tähänastisissa pilaantumistapauksissa on jouduttu etsimään uusi raakavesilähde pilaantuneen esiintymän tilalle (Hatva 1994). Toisin kuin pintavesillä, pohjavesien luontainenkin puhdistuminen on hyvin hidas prosessi. Luontaisesti puhdistavien mikrobien elinolosuhteet akvifereissä ovat hankalat: lämpötila on matala, valoa ei ole ja hapetta on usein vähän. Tämän takia pohjavesien suojelu ja pilaantumisen ehkäiseminen ennakolta on ensiarvoisen tärkeää.



Pohjaveden suojelussa pyritään turvaamaan pohjavesivarojen säilyminen käyttökelpoisina vedenhankintaan rajoittamatta kuitenkaan tarpeettomasti muita maankäyttömuotoja pohjavesialueilla. Tämä edellyttää sekä suunnitelmallisuutta että riittäviä perustietoja pohjavesialueista ja niillä suoritettavista pohjavesiä muuttavista tai pilaavista toiminnoista (Vesi ja ympäristöhallitus 1991).

## 1.2 Pohjavesialueen suojelusuunnitelma

### 1.2.1 Yleistä

Pohjavesialueen suojelusuunnitelma on uusi lisäys pohjaveden suojelun keinovalikoimaan. Vesi- ja ympäristöhallitukselta tuli ohje sen laatimisesta (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991) ja esimerkkityö Tuusulan Hyrylän pohjavesialueelta. Näiden jälkeen on viime vuosina tehty jo kymmeniä suojelusuunnitelmia. Suunnitelmia ovat laatineet vesilaitokset, kunnat sekä vesi- ja ympäristöpiirit joko omana työnään tai konsultteja apuna käyttäen. Usein niitä on laaditu näiden kaikkien tahojen yhteistyönä.

Pohjavesialueen suojelusuunnitelma sisältää seuraavat pääkohdat (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991):

- pohjavesialueen hydrologinen kartoitus
- vedenottamoalueiden ja suojavyöhykkeiden määrittely
- riskitekijöiden kartoitus ja arviointi
- tarvittavat suojelutoimenpiteet
- toimenpiteet vahinkotapauksissa

### 1.2.2 Tarkoitus ja käyttö

Pohjavesialueen suojelusuunnitelma koskee koko kyseistä pohjavesialuetta. Se voidaan laatia joko käytössä olevalle tai tulevaisuudessa käyttöön otettavalle pohjavesialueelle. Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien taso on vaihdellut tarpeen mukaan. Toisinaan on tyydytty arvioitujen pohjavettä uhkaavien toimintojen luetteloon, mutta on myös suojelusuunnitelmia, jotka sisältävät tarkkoja hydrogeologisia selvityksiä ja yksityiskohtaisia suunnitelmia esimerkiksi maa-ainesten ottamisen ohjaamiseksi. Suunnitelman laajuus on hyvin paljon riippuvainen siitä, kuinka



merkittävälle pohjavesialueelle sitä laaditaan. Tarkkoja geologisia selvityksiä ja veden laadun seurantaohjelmia ei ole mielekästä suorittaa esimerkiksi tulevaisuudessa mahdollisesti käyttöön otettavalla, antoisuudeltaan pienellä pohjavesialueella.

Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmassa pyritään kokonaisvaltaiseen, nopeaan ja joustavaan pohjavesialueen käytön suunnitteluun ja alueen maankäytön ohjaamiseen. Täten suojelusuunnitelmia ei alisteta vesioikeuskäsittelyyn vaan ne jäävät lähinnä kuntien käyttöön ohjaamaan alueen maankäyttöä. Koska suojelusuunnitelmia ei alisteta oikeuskäsittelyyn, niillä ei siten ole myöskään oikeudellisia vaikutuksia. Kunta tai vesilaitos ei joudu suojelusuunnitelmien pohjalta korvaamaan mahdollisista suunnitelluista käyttöoikeuksien rajoituksista aiheutuvia menetyksiä. Suunnitelman aiheuttamat oikeusvaikutukset ja korvaukset muuttuvat akuuteiksi siinä vaiheessa, kun suojelusuunnitelmaa sovelletaan asia-argumenttina käytäntöön esimerkiksi kaavojen laatimisen tai ympäristölupien lupaharkinnan yhteydessä (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991).

Pohjavesialueen suojelusuunnitelman tulisi toimia käsikirjana etenkin kuntatasolla kyseistä pohjavesialuetta koskevissa asioissa. Suunnitelmasta olisi löydettävä vastaus maankäytön ohjaamiseen liittyviin kysymyksiin. Lisäksi tärkeä asia olisi löytää apua vahinkotapauksissa, kun tarvitaan nopeita toimia onnettomuuksien haittojen minimoimiseksi. Tällöin suunnitelmasta olisi löydettävä ohjeet siitä, mistä apua on saatavilla ja kuinka esimerkiksi mahdolliset pumppaus- tai imeytysjärjestelyt olisi suoritettava. Lisäksi suunnitelma voi selventää alueen valvontaan liittyvää työnjakoa.

Pohjavesialueen suojelusuunnitelmaa ei pidä sekoittaa vesilakiin perustuvaan vesioikeudelliseen suoja-alueiden määrittämiseen. Vesioikeudellinen suoja-alueiden määrittäminen on huomattavasti raskaampi ja hitaampi prosessi kuin pohjavesialueiden suojelusuunnitelman laatiminen. Toisaalta vesioikeudelliset suoja-alueet ovat oikeudellisesti sitovia ja ne velvoittavat alueiden käytön rajoituksista aiheutuvien menetysten korvaamiseen. Suoja-alueiden määrittämisen merkitys on vähentynyt vuoden 1987 Vesilain muutoksen jälkeen ja muunkin pohjaveden suojelua koskevan lainsäädännön kehittyessä varsin tehokkaaksi. Vedenottamoiden suoja-alue voidaan monessa tapauksessa korvata pohjavesialueen suojelusuunnitelmalla (Hatva 1994). Vesioikeudellinen suoja-alueenmenettelykin on edelleen toimiva ratkaisu joissakin tapauksissa. Eräs tällainen tilanne on silloin, kun vedenottamo sijaitsee toisen kunnan alueella (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991).



### 1.3 Pohjaveden suojelun lainsäädäntö

#### 1.3.1 Yleistä

Pohjaveden suojelu perustuu nykyisin pääosin vesilain noudattamisen valvontaan, valvontaohjeisiin, suojaja-alueisiin, terveydensuojelulain ja maa-aineslain soveltamiseen sekä eriasteisiin kaavoissa annettuihin määräyksiin ja toimenpidekieltoihin (Hatva 1994). Suojelua toteuttavina ja valvovina tahoina toimivat rakennustarkastajat, ympäristönsuojelu- ja rakennuslautakunnat tai näiden tehtäviä hoitavat muut kunnalliset viranomaiset, kunnanhallitukset, vesi- ja ympäristöpiirit sekä lääninhallitukset. Vesi- ja ympäristöpiirien ja lääninhallitusten organisaatioista yhdistetään 1.3.1995 alkaen alueellisia ympäristökeskuksia, jotka jatkavat näiden viranomaisten valvontatehtäviä.

#### 1.3.2 Vesilaki

Vesilaki yleiskieltoineen tarjoaa periaatteessa vahvan suojan pohjavedelle. Vesilain yleiskielloissa on kielletty pohjaveden pilaaminen, vaarantaminen ja muuttaminen. Vesilakia muutettiin vuonna 1987 pohjavesiä paremmin suojaavaan suuntaan. Vesilain määräykset ovat kuitenkin monesti luonteeltaan abstrakteja ja ne sisältävät runsaasti tulkinnanvaraisia ilmaisuja. Vesilain soveltamisessa joudutaankin usein tapauskohtaiseen laillisuusharkintaan, mihin liittyvät myös tarkoituksenmukaisuusnäkökohdat. Tällainen tapauskohtaisuus antaa tosin usein myös tilanteeseen parhaiten soveltuvan ratkaisun.

Pohjaveden muuttamiskielto (VL 1:18) kieltää ilman vesioikeuden lupaa käyttämästä pohjavettä tai ryhtymästä pohjaveden ottamista tarkoittavaan toimeen siten, että siitä voi aiheutua jonkin pohjavettä ottavan laitoksen vedensaannin vaikeutuminen, tärkeän tai muun vedenhankintakäyttöön soveltuvan pohjavesiesiintymän antoisuuden olennainen vähentyminen tai sen hyväksikäyttämättömyyden muu huonontuminen taikka toisen kiinteistöllä talousveden saannin vaikeutuminen. Kielto koskee myös maankamaran ainesten ottamista ja muuta toimenpidettä, josta aiheutuu edellä mainittu seuraus. Tämä säännös ei kuitenkaan koske pohjaveden ottamista talousvedeksi eikä sitä varten tarvittavan kaivon tekemistä (Luhtanen 1988).



Pohjaveden pilaamiskiellon (VL 1:22) mukaisesti ainetta tai energiaa ei saa panna tai johtaa sellaiseen paikkaan tai käsitellä siten, että

- 1) tärkeällä tai muulla vedenhankintaan soveltuvalla pohjavesialueella pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai sen laatu muutoin olennaisesti huonontua;
- 2) toisen kiinteistöllä oleva pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai kelpaamattomaksi tarkoitukseen, johon sitä voitaisiin muuten käyttää; tai
- 3) toimenpide vaikuttamalla pohjaveden laatuun muutoin saattaa loukata yleistä tai toisen yksityistä etua (Luhtanen 1988).

Pohjaveden pilaamiskielto on siten ehdoton eikä vesioikeuskaan voi myöntää tämän pykälän vastaiseen toimintaan lupaa. Pilaamiskielto sisältää myös varovaisuusperiaatteen mukaisen määräyksen, joka käytännössä kieltää myös pohjaveden laadun vaarantamisen.

Vesioikeus voi pohjavedenottamon lupapäätöksessä tai eri hakemuksesta määrätä ottamon ympärillä olevan alueen suoja-alueeksi (VL 9:20). Alueella ei saa ilman vesioikeuden lupaa pitää laissa tarkoitettuja rakennuksia tai laitteita eikä suorittaa toimintaa, joka voi vahingollisella tavalla huonontaa ottamosta saatavan veden laatua. Korvausten osalta sovelletaan pintaveden ottamoita koskevaa VL 9:19:ää mikä tuo mukanaan käyttörajoitusten korvausvelvollisuuden (Vihervuori 1989).

### 1.3.3 Maa-aineslaki

Maa-aineslain mukaan maa-aineksia ei saa ottaa niin, että siitä aiheutuu kauniin maisemakuvan turmeltumista, luonnon merkittävien kauneusarvojen tai erikoisten luonnonesiintymien tuhoutumista taikka huomattavia tai laajalle ulottuvia vahingollisia muutoksia luonnonolosuhteissa. Maa-aineslain perusteluissa on kiinnitetty erityistä huomiota pohjavesien suojeluun (Hatva 1994).

Kuten vesilainkin niin myös maa-aineslain määrittelemät muutokset ja haitat on ilmaistu hyvin yleisellä tasolla ja abstrakteina. Tulkinnan varaa näissäkin säädöksissä jää runsaasti. Käytännössä maa-aineslaki tarjoaa kuitenkin yleensä parhaat keinot suojella pohjavesialueita soran oton vaikutuksilta.



Maa-aineslain perusteella maa-ainesten ottajan on hankittava lupa kunnanhallitukselta. Lain perusteella lupahakemuksesta on hankittava vesi- ja ympäristöpiirin lausunto, jollei sitä ole pidettävä tarpeettomana (Vihervuori 1989).

#### 1.3.4 Euroopan Unionin direktiivit

Euroopan unionin direktiivit, jotka liittyvät pohjavesien suojeluun ovat luonteeltaan kuten muutkin ympäristödirektiivit ns. vähimmäisdirektiivejä. Toisin sanoen niissä määritellään vähimmäistaso, mihin suojelussa on päästävä. Suomalainen lainsäädäntö on pienin muutoksin saatu vastaamaan direktiivejä. Suomalaisessa lainsäädännössä ei aiemmin ole ainekohtaisesti määritetty päästöjä, vaan on vain yleisesti puhuttu pohjavesiä vaarantavista aineista. Euroopan unionin direktiivin sisältämä luettelo aineista, jota ei saa päästää ympäristöön, on nyt sisällytetty lainsäädäntöön. Käytännössä tämä ei tuo muutoksia pohjavesialueiden suojeluun, koska suojelun taso on Suomessa ollut Euroopan yhteisön direktiivejä tiukempi.

#### 1.3.5 Muut säädökset

Terveydensuojelulaki ja -asetus sisältävät säädöksiä, jotka joissakin tapauksissa voivat koskea pohjaveden suojelua. Niiden mukaan eräiden laitosten perustamiseen tarvitaan lupa. Nykyisin tämä sisältyy ympäristölupaan (Hatva 1994). Terveydensuojelulain ja -asetuksen perusteella annettavien määräysten täytyy koskea nimenomaisesti terveydellisiä haittoja. Kesäkuussa 1994 on Korkein Hallinto-oikeus antanut päätöksen, jossa se on pitänyt voimassa kunnan terveyslautakunnan antaman liettelannan levityskiellon pohjavesialueen lähisuojavaähykkeellä olevalla pellolla (Korkein hallinto-oikeus 1994).

Yleiskaavan laatimisen takia toimenpidekiellossa olevien alueiden maa-ainesten ottamista säädellään rakennuslain 124a pykälän mukaisesti. Tällöin rakennuslaki syrjäyttää maa-aineslain ja rakennus- ja vesilain säädöksiä tulkitaan rinnakkain. Pohjaveden suojelun kannalta tämä on merkittävää sikäli, että maa-aineslain ja rakennuslain mukaiset lupaedellytyssäännökset poikkeavat toisistaan (Vihervuori 1989).



Pohjavesialueilla oleviin jätteisiin ja roskiin sovelletaan jätelainsäädännön määräyksiä kuten muuallakin. Samoin palavien nesteiden varastoinnissa ja käsittelyssä on otettava huomioon muun muassa öljyvahinkojen torjuntaa koskevat säädökset (Hatva 1994).

#### 1.4 Pohjaveden suojele muissa maissa

Verrattaessa muiden maiden pohjavesiasioihin liittyviä määräyksiä ja menetelmiä, on muistettava, että suurimmassa osassa maapalloa akviferien luonne poikkeaa huomattavasti suomalaisista esiintymistä. Ainoastaan mannerjäätikön joskus peittämällä alueilta esiintyy harjuja ja reunamuodostumia, jotka meillä ovat merkittävimpiä pohjavesialueita. Meillä esiintymät ovat mosaiikkimaisia eli ne ovat pieniä ja niitä on runsaasti. Esimerkiksi Keski-Euroopan tilanne on lähes päinvastainen. Siellä on tyypillisesti laajoja paineellisia akviferejä, joita voi olla useitakin päällekkäin tiiviiden kallio- tai maakerrosten erottamina. Pohjavesi on Suomessa poikkeuksellisen lähellä maan pintaa ja parhaat esiintymät ovat hyvin vettä johtavien kerrosten peittämiä. Tästä seuraa se, että suomalaiset pohjavesialueet ovat huomattavasti helpompia likaantumaan kuin esiintymät muualla maailmassa. Toisaalta mosaiikkimaisuus aiheuttaa sen, että likaantuminen on vain paikallista ja usein tilanteesta selvittää ottamalla käyttöön läheinen puhdas pohjavesialue. Esimerkiksi Keski-Euroopassa ja Baltiassa akviferit ovat paremmin suojassa likaantumiselta, mutta likaannuttuaan pohjavesi sekä maa- ja kallioperä saastuvat laajoilta alueilta. Kerroksellisuudesta johtuen syvemmillä olevia kerroksia voidaan kuitenkin usein yhä käyttää talousveden hankintaan. Ruotsalaiset olosuhteet ovat hyvin lähellä suomalaisia ja ruotsalaista ohjeistoa voidaan soveltaa lähes suoraan Suomeen.

Pohjavesialueiden suojelussa käytettävät menetelmät ovat hyvin samankaltaisia kaikkialla maailmassa. Suojelu keskittyy suojavyöhykkeiden määrittelyihin ja toimintojen rajoituksiin niillä (Villaroya 1994). Menetelmätavoissa on kansainvälisesti hyvin vähän eroja suomalaiseen käytäntöön nähden. Suomessa käytettävän pohjavesialueen suojelusuunnitelman kaltaista suunnittelua käytetään myös muualla apuna pohjavesialueiden suunnittelussa (Scharp 1994). Tällä alalla on ilmeisesti jo pitkään pidetty kansainvälistä yhteistyötä yllä. Luonnollisesti paikallisia eroja löytyy siitä, minkälaisiin riskitekijöihin kiinnitetään huomiota, sillä uhkatekijät vaihtelevat suuresti eri puolella maailmaa. Myös useissa kehitysmaissa pohjaveden suojele on ollut pakko suhtautua vakavasti, koska puhtaan veden riittävyys on todella suuri ongelma (Villaroya 1994).



Eräs pohjavesivarojen suojelussa käytettävä keino, jota kansainväliset lähteet korostavat selvästi enemmän kuin suomalaiset, on ihmisten koulutus ja valistus pohjavesiriskejä koskevissa asioissa (Fyfe 1993). Etenkin kehitysmaissa tämä on suuri ongelma heikon peruskoulutustason takia. Kuitenkin myös Suomessa merkittävä osa ristiriidoista pohjaveden talousvesikäytön ja muun maankäytön välillä voitaisiin välttää asiallisella tiedottamisella. Merkittävää edistystä ihmisten asenteissa ja tieto-aidossa on jo tapahtunut, koska ympäristöasiat ovat olleet runsaasti esillä viime vuosina. Öljytuotteiden käsittely onkin merkittävästi parantunut tiedon lisääntymisen myötä. Kuitenkin esimerkiksi maa-ainesten ottajien tiedotusta olisi tehostettava, jotta halvat ja helpot suojausmenetelmät eivät jäisi tiedon puutteen vuoksi tekemättä. Esimerkiksi uusien soranotto-alueiden pintamaiden levittäminen jo käytetyille sora-alueille käy helposti ja on edullinen ja tehokas menetelmä mm. ilmalaskeuman torjunnassa. Tieto tästä asiasta on kuitenkin vielä niin uutta, ettei suurin osa soranottajista todennäköisesti vielä tiedosta tällaisen maannoskerroksen merkitystä pohjaveden laadulle.

## 2. Pohjavesialueen hydrogeologinen kartoitus

### 2.1 Yleistä

Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien laatimisessa ensimmäinen tehtävä on hydrogeologisten olosuhteiden tarkentaminen. Yleensä yhdyskuntien käyttämisestä tai käyttöön otettavista pohjavesialueista on tehty tutkimuksia vesi- ja ympäristöpiirien toimesta. Näitä töitä voidaan tarkentaa puutteellisilta kohdilta käyttämällä esimerkiksi maaperätutkimuksia tai havaintoputkia. Useilla alueilla tietoja on saatavissa myös muilta alueen käyttäjiltä kuten maanomistajilta, soran ottajilta tai tielaitokselta. Olemassaolevasta kartta-aineistosta voidaan pitkälle päätellä mm. harjualueiden akviferien sijainti. Maanmittauslaitoksella ja Puolustusvoimien Topografikunnalla on ilmakuvia koko Suomesta. Ne antavat ajankohtaisen ja havainnollisen kuvan alueen maankäytöstä.



## 2.2 Maaperätutkimukset

### 2.2.1 Yleistä

Maaperätutkimuksilla selvitetään tutkimuspisteen kohdalla sijaitsevat maalajit, niiden kerrospaksuudet ja vedenjohtavuudet sekä tutkimuspisteen kallion pinnan ja pohjaveden korkeusasemat. Näiden seikkojen avulla pyritään määrittämään pohjaveden virtaussuunnat ja vedenjakajat sekä usein myös virtausnopeuden suuruusluokka. Maaperätutkimukset jakaantuvat maaperäkairauksiin ja maan päältä tapahtuviin mittauksiin.

### 2.2.2 Kairaukset

Kairauksilla saadaan luotettava tieto vettäläpäisevien sora- ja hiekkakerrosten paksuudesta. Tärkeintä on selvittää vettä hyvin johtavien kerrosten paksuus pohjavesipinnan alapuolella. Pohjavesipinnan yläpuolisista kerroksissa saadaan veden imeytymiseen, putkien asentamiseen ja mahdollisten vedenottamoiden rakentamiseen liittyvää tietoa. Usein kairan kärjessä käytetään läpivirtausnäytteenotinta, jolla voidaan ottaa maanäyte halutulta syvyydeltä (Kovalainen ja Haataja 1994).

Harjujen pohjavesitutkimuksien kairauksissa esiintyy myös ongelmia. Kerrospaksuudet harjuissa ovat kymmenien metrien luokkaa ja pohjavesipintakin jopa usean kymmenen metrin syvyydellä. Näihin syvyyksiin heikoilla kairoilla ei päästä ja ylempien kerrosten selvittämisellä ei pohjavesitutkimusten näkökulmasta ole juurikaan merkitystä. Kairauksissa on kivistä johtuvia ongelmia sillä esimerkiksi harjujen ydinosissa niitä on runsaasti. Kairaukset pysähtyvät kiviin eikä haluttua kallionpintatietoa siten saada selville. Usein suurista kivistä aiheutuva ongelma on lisäksi se, ettei voida olla varmoja pysähtyikö kaira kiveen vaiko kallioon. Virheellisesti tulkittu tieto voi tällöin johtaa vääriin päätelmiin kallion korkeusasemasta.

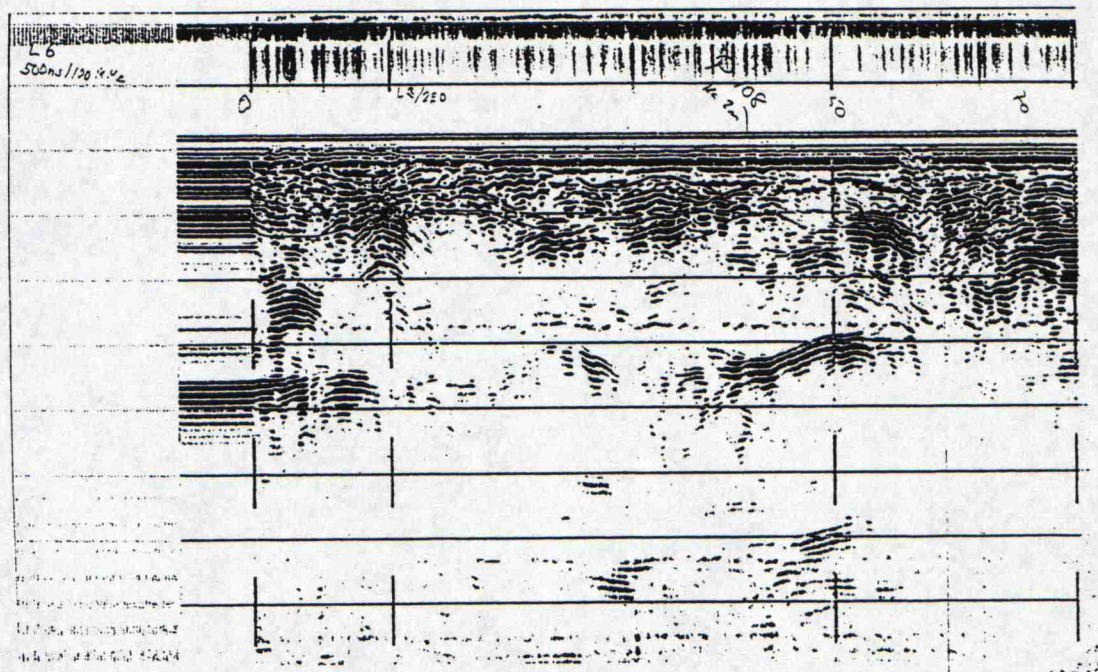
### 2.2.3 Geofysikaaliset mittaukset

Maaperää voidaan tutkia myös maan päältä. Varmoihin tuloksiin näillä tutkimusmenetelmillä ei









Kuva 1. Maatutkaluotauksesta saatavaa tulostetta. Vaaka-akselilla on matka lähtöpisteestä. Pystyakseli kuvaa säteen viipymää maaperässä, eli homogeenisessa maaperässä etäisyyttä maanpinnasta. Mitä vahvempi viiva sen suurempi heijastuma maaperästä.

### 2.3 Havaintoputket

Pohjavesikerrokseen riittävän syvälle asennetut havaintoputket antavat luotettavan kuvan pohjaveden pinnankorkeuksista ja pohjaveden laadusta. Putkia voidaan käyttää osittain myös esiintymän antoisuuden ja vedenjohtavuuden sekä varastokertoimien määrittäisiin. Mikäli havaintoputket on varustettu riittävän pitkällä siiviläosalla, voidaan näytteitä ottaa ja tutkimuksia tehdä myös kerroksittain.

Havaintoputkista kyllin usein tehtävän pinnankorkeuksien seurannan avulla saadaan selville sekä vuodenajoinen että vuosittainen vaihtelu. Kauan jatkuvassa seurannassa myös pitkän aikavälin trendit erottuvat vuosien välisistä vaihteluista. Esimerkiksi soranottoa varten tapahtuva ylimmän pinnankorkeuden esille saaminen vaatii vähintään viisi vuotta kestävää ainakin neljä kertaa vuodessa eri vuodenaikoina tapahtuvaa pinnankorkeuksien seuranta (Hatva ym. 1993 a). Havaintoputkista saatava pinnankorkeustieto on hyvin helposti ja luotettavasti mitattavissa, mikäli putket ovat toimintakuntoisia.



Pohjaveden laadun seuraaminen havaintoputkista on huomattavasti työläämpää ja kalliimpaa kuin pinnankorkeustiedon selvittäminen. Kyllin tiheään tapahtuva analysointi luotettavassa laboratorioissa ja riittävän huolellinen näytteenotto putkien huuhteluineen on suhteellisen kallis toimenpide. Yleensä samasta näytteestä kannattaa määrittää kaikki normaalit analyysit sillä normaalien parametrien tutkimuskustannukset ovat marginaalisia luotettavan näytteenoton kustannuksiin verrattuna. Sen sijaan näytteenottotiheyttä harventamalla voidaan laskea merkittävämmiin tutkimuksen kustannuksiin. Veden laadussa on kuitenkin useiden parametrien kohdalla täysin satunnaista ja luontoon normaalisti liittyviä vaihteluita. Analyysejä tulisi sen takia suorittaa riittävän useasta havaintoputkesta kyllin tiheästi ja pitkän aikaa, ennenkuin mitään varmaa laadun suhteen ja etenkin mahdollisen muutoksen suunnasta ajan ja sijainnin suhteen voidaan sanoa.

Pohjaveden pinnankorkeuksien ja laadun kehitystä analysoitaessa voidaan käyttää apuna tilasto-ohjelmistoja. Ne mahdollistavat sellaisten muutosten erottamisen havaintoaineistosta, jotka eivät heti erotu tulosten luonnollisen vaihtelun takia. Lisäksi niiden avulla voidaan havainnollistaa muutosten suuntaa ja suuruutta sekä karsia pois analyysivirheistä johtuvia poikkeavia määrittystuloksia.

## 2.4 Maaperän luontaisten ominaisuuksien vaikutus veden laatuun

Pohjaveden virtausolosuhteet ja hapetus-pelkistysolosuhteet vaihtelevat erilaisissa pohjavesiesiintymätyypeissä. Hiekka- ja soramuodostumat voidaan jakaa ympäristöön pohjavettä purkaviin eli antikliinisiin ja ympäristöstä vettä kerääviin eli synkliinisiin pohjavesiesiintymiin. Pohjaveden virtauskuva vaikuttaa muun muassa pohjaveden rautapitoisuuteen, sähkönjohtavuuteen, bikarbonaatti-, kloridi-, ja sulfaattipitoisuuksiin, happamuuteen ja orgaanisen aineksen määrään (Hatva 1989).

Harjualueiden akviferit ovat tyypillisesti antikliinisiä. Pohjavesi on näissä laadultaan pehmeää, vähän liuenneita suoloja sisältävää ja lievästi hapanta. Veden typpi-, kloridi- ja sulfaattipitoisuudet ovat pieniä. Veteen liuenneen hapen määrä on suuri, jolloin vedessä ei ole rautaa ja mangaania. Tällainen vesi on puhdasta ja miellyttävän makuista, mutta metallisia vesijohtoverkostoja syövyttävää.



Savipeitteisissä synkliinisissä harjuissa pohjaveden kloridi- ja sulfaattipitoisuudet ovat korkeita vanhan Litorina-meren vaikutuksesta (Hatva 1989).

Hiekka- ja sora-alueilla pohjaveden laatuun vaikuttavat virtausolosuhteiden lisäksi myös monet muut luontaiset ympäristötekijät kuten maa- ja kallioperän kivilajikoostumus, esiintymien geologinen rakenne ja historia sekä meren läheisyys (Lahermo 1975).

## 2.5 Pohjavesialueen mallintaminen

Pohjavesimalleilla tarkoitetaan pohjavesisysteemissä tapahtuvien virtaus- ja kulkeutumisprosessien matemaattista kuvausta. Tietotekniikan kehittyessä pohjavesimallien käyttö on viime vuosikymmenten aikana tullut avuksi pohjavesiesiintymiin kohdistuvien toimenpiteiden seurauksia arvioitaessa. Mallit ovat joko kaksi- tai kolmiulotteisia ja niitä voidaan käyttää sekä määrällisiin että laadullisiin tarkasteluihin. Mallien avulla pyritään saamaan selville pohjaveden pinnankorkeudet, virtausnopeudet ja varastokertoimet sekä laadullisissa tarkasteluissa aineiden konsentraatiot erilaisissa tilanteissa (Granlund ja Nysten 1991). Pohjavesimallit ovat erityisen tehokkaita apuvälineitä tutkittaessa sellaisia tilanteita, joita ei kenttäkokein voida selvittää. Tällaisia ovat esimerkiksi laitospasiteetin kasvattaminen ja öljyvahinkojen alueellinen rajoittaminen (Laukkanen *et al.* 1991).

Pohjavesimallien luotettava kalibrointi on mallien antamien tulosten oikeellisuuden kannalta ensiarvoisen tärkeää. Kyllin tarkan lähtöaineiston saamiseksi alueella on oltava riittävästi havaintoputkia ja siellä on tehtävä kairauksia. Lisäksi tulee selvittää vedenjakajat, vapaat vesipinnat ja virtaukset mallinnettavan alueen reunojen ohi reunaehtojen määrittämiseksi (Laukkanen *et al.* 1991). Tarkkojen lähtötietojen kokoaminen ja mallin kalibrointi eri alojen asiantuntijoiden yhteistyönä johtaa siihen, että luotettavan pohjavesimallin kustannukset kohoavat merkittävän suuriksi. Täten mallin laatiminen esimerkiksi suojelusuunnitelman yhteydessä tulee vain harvoin kysymykseen, koska pohjavesimallin kustannukset ovat kertaluokkaa korkeammat kuin pelkän suojelusuunnitelman (Laukkanen Risto 1994).



### 3. Suoja-alueiden rajaaminen

#### 3.1 Yleistä

Suoja-alueiden rajojen määrittämisen merkitys on vähentynyt vesilain uudistumisen myötä. Pohjaveden suojelua on tehostettu myös suoja-alueiden ulkopuolella. Sillä onko alue tärkeällä pohjavesialueella, ei vesilainsäädännön mukaan ole enää merkitystä. Pohjaveden pilaamiskielto on ehdoton niin suoja-alueilla kuin niiden ulkopuolellakin. Luonnollisesti valvonnan on kuitenkin oltava huomattavasti tehokkaampaa tärkeillä pohjavesialueilla sekä niiden lähisuojavaöhykkeillä kuin vedenhankinnan kannalta toisarvoisilla alueilla.

Suoja-alueiden rajauksella on kuitenkin merkitystä alueen maankäytön suunnittelussa. Suoja-vaöhykkeille ei tule suunnitella sellaista maakäyttöä, joka uhkasi pohjavesialueen hyödyntämistä talousveden hankintaan.

Suomalaista käytäntöä vastaava pohjavesialueen jakaminen kolmeen eri tasoiseen suojavaöhykkeeseen on käytössä useimmissa maissa. Vaikka vaöhykkeiden nimitykset vaihtelevatkin, niiden määrittelyperiaatteet ovat kuitenkin hyvin samankaltaisia kaikkialla (Villarroja 1994).

#### 3.2 Vedenottamoalue

Pohjavedenottamon välitön lähiympäristö rauhoitetaan pelkästään vedenottoa palvelevia toimintoja varten. Aluetta ei saa käyttää muihin tarkoituksiin. Tämä vedenottamoalue määritetään yleensä vesioikeuden toimesta samassa yhteydessä, kun vedenottamolle myönnetään lupa pohjaveden ottoon. Myös pohjavedenottamon mahdollisesti tarvitsemat kemikaalit täytyy varastoida huolellisesti siten, ettei niistä aiheudu haittaa esiintymän veden laadulle. Usein vedenottamoalue aidataan siten, että asiaton liikkuminen alueella estyy. Vedenottamoalueen laajuuden tulisi olla vähintään 0,5 ha (Hatva *et al.* 1993 a).



### 3.3 Lähisuojavyöhyke

Ottamoiden, tutkittujen vedenottoalueiden tai arvioitujen vedenottovyöhykkeiden ympärille määritellään ohjeelliset lähisuojavyöhykkeet (Hatva *et al.* 1993 b). Lähisuojavyöhykkeet on alunperin määritetty ottamon veden mikrobiologisen laadun turvaamiseksi. Tällöin on päädytty rajaamaan alue, jonka reunalta on 50 - 60 vuorokauden pohjaveden viipymä ottamolle. On todettu että haitalliset virukset ja bakteerit yleensä tuhoutuvat tuon ajan sisällä pohjavedestä. Vastaava raja-arvo on käytössä useimmissa Euroopan maissa (Villarroja 1994).

Nykyisin pilaavien aineiden päästäminen pohjavesiin on kiellettyä eikä tällaisia rajoja periaatteessa siten tarvita. Lähisuojavyöhykettä käytetään estetämään soranoton haittavaikutukset (Hatva *et al.* 1993 b). Lähisuojavyöhyke tulisi jättää maa-ainesten ottoa suunniteltaessa mahdollisimman luonnontilaiseksi ja myös aikaisemman oton haittavaikutukset tulisi poistaa mahdollisimman tehokkaasti asianmukaisin jälkihoitotoimenpitein.

Lähisuojavyöhykkeen ulkoreunan etäisyys vedenottamolle pohjaveden päävirtaussuunnassa on yleensä noin 200 - 600 metriä. Pisimmät vyöhykkeet yltävät tulosuunnassa yli kilometrin etäisyydelle. Keskimääräiset mitatut virtausnopeudet harjujen ydinosissa ovat kuitenkin 13,6 m/d, joten tätä taustaa vasten keskimääräinen lähisuojavyöhykkeen etäisyys harjumuodostumissa tulisikin olla noin 800 metriä ( $13,6 \text{ m/d} \cdot 60 \text{ d} = 816 \text{ m}$ ) pohjaveden tulosuunnassa. Suojavyöhykkeen rajoja määritettäessä tulee muistaa, että vedenottamalla tapahtuva pumppaus nopeuttaa merkittävästi etenkin pumppaamon lähistöllä pohjaveden virtausta.

### 3.4 Kaukosuojavyöhyke

Kaukosuojavyöhyke kattaa koko pohjaveden muodostumisalueen. Tällä vyöhykkeellä tulee kieltää pohjaveden pitkäaikaista saastumista aiheuttavat toiminnot. Haluttaessa kaukosuojavyöhyke voidaan jakaa kahteen osaan. Tällöin A-osaan sisällytetään varsinainen pohjaveden muodostumisalue ja B-osaan esimerkiksi muodostumisalueella sijaitsevat kallio- ja moreenialueet sekä laajan muodostumisalueen reunaosat ja vedenjakajavyöhykkeet (Vesi- ja ympäristöhallitus 1993 b).



#### 4. Pohjaveden riskitekijät

Pohjavesialueen riskit jaetaan riskinarvioinnin yhteydessä yleensä kahteen osaan: päästö- ja sijaintiriskiin.

##### 4.1 Päästöriski

Päästöriski kuvaa sitä, kuinka helposti ja millaisia aineita kyseessä olevasta toiminnasta voi päästä pohjaveteen (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991). Tärkeitä päästöriskiin vaikuttavia tekijöitä ovat käsiteltävien aineiden laatu, määrä ja käyttäytyminen maaperässä, erilaisten kemikaalien lukumäärä, aineiden käsittelytapa ja -huolellisuus sekä alueella suoritettut suojaustoimenpiteet kuten suojarakenteet säiliöiden ympärillä.

Vaikka suojaustoimenpiteet olisivatkin normaalisti hyvät, täytyy huomioida myös mahdolliset häiriö- ja onnettomuustilanteet. Ne ovat päästöjen kannalta yleensä kaikkein ongelmallisimpia.

##### 4.2 Sijaintiriski

Sijaintiriskillä tarkoitetaan sitä, miten vakavat seuraukset päästöstä aiheutuu päästölähteen sijainnin takia vedenottamon raakaveden laadulle (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991). Tärkeitä sijaintiriskin suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat päästölähteen etäisyys vedenottamolta, sijainti pohjavesialueella sen reuna- tai keskiosassa, maalajit ja kalliokynnykset ottamon ja päästölähteen välillä sekä päästölähteen laajuus.

##### 4.3 Riskin suuruuden arviointi

Päästö- ja sijaintiriskien vertailua varten on olemassa pisteytysjärjestelmiä, joiden tavoitteena on saattaa nämä riskit keskenään vertailukelpoisiksi. Vertailun tavoitteena on löytää tärkeimmät pohjaveden laatua uhkaavat toiminnot, jotta huomio pystyttäisiin kiinnittämään niiden torjumiseen.



Esimerkiksi Vesi- ja ympäristöhallitus on laatinut tällaisen pisteytysjärjestelmän, jolla päästö- ja sijaintiriskien komponenteille annetaan pistearvot 0-10 riskin suuruuden mukaan. Tämän jälkeen pistemäärät lasketaan yhteen ja mitä suurempi yhteispistemäärä on, sen suurempi uhka kyseinen toiminto on pohjaveden laadulle. Käytännössä kyseinen pisteytysmenetelmä on kuitenkin osoittautunut melko heikoksi. Erot erilaisten päästölähteiden välillä jäävät melko pieniksi ja tulkinnanvaraa pisteiden antoon jää runsaasti. Esimerkkinä voidaan todeta, että pisteytyksen mukaan satunnaisen ohikulkijan rakon tyhjennys ottamon liepeillä saa helposti yhtä suuren pistemäärän kuin hieman kauempana sijaitsevan vaarallisia kemikaaleja käsittelevän laitoksen toiminta. Siksi kyseisiä pisteytysmenetelmiä voidaan käyttää apuna sellaisissa tilanteissa, missä päästölähteitä on runsaasti ja resursseja riskien minimoimiseksi on rajoitetusti. Tällöinkin pisteytyksen tulokset ovat vain suuntaa-antavia. Yleispätevien pisteytysjärjestelmien luominen ja erilaisten parametrien painotusten arvioiminen on niin vaativa prosessi, ettei sellaisten antamia tuloksia voi pitää sen luotettavimpina kuin tietylle pohjavesialueelle huolellisen, ilman pisteytysmenetelmiä tehdyn arvioinnin tuloksia.

#### 4.4 Potentiaaliset pohjavesiriskit

##### 4.4.1 Yleistä

Pohjavesiä uhkaavat riskitekijät vaihtelevat suuresti eri puolilla maapalloa esiintymien luonteen sekä ympäristöasioiden huomioon ottamisen mukaan. Lähi-idän alueilla suurimmat ongelmat kohdistuvat uusiutumattomien akviferien ryöstöpumppaukseen. Liikapumppauksesta johtuva paineen aleneminen akviferissä on johtanut meriveden pääsyyn makean veden sekaan sekä aiheuttanut maanpainumisongelmia. Lisäksi esimerkiksi Intian alueella eräs suurimmista pohjavesiä uhkaavista tekijöistä on T-paitojen valmistus, koska halvoista tuotantomenetelmistä pääsee suuria määriä klorideja pohjavesiin (Jacks *et al.* 1994).

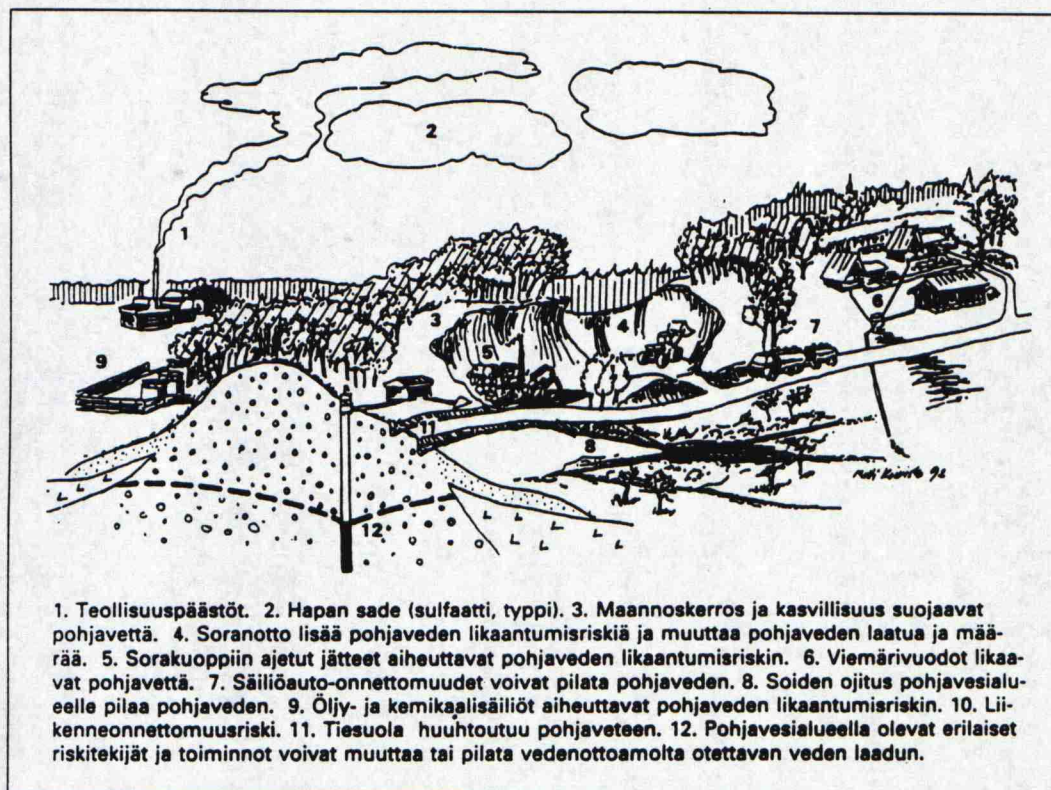
Tärkeimpiä Euroopan Unionin maiden alueilla esiintyviä pohjavesiriskejä ovat (RIVM & RIZA 1991):

- kaatopaikat
- vaarallisten aineiden varastointi
- pohjasedimenttien ruoppaukset



- kaivosjätteet
- polttoainesäiliöt
- nitraatit: lannoitteet, lanta, laskeuma ilmasta ja eurooppalaisen maaperän luontaisesti huono nitraatin sitomiskyky
- maatalouden fosfori- ja kaliumpäästöt
- torjunta-aineiden käyttö ja huuhtoutuminen
- raskasmetallit
- maaperän happamoituminen ja siitä aiheutuva alumiinin liukeneminen
- pohjavesipinnan liiallinen aleneminen: ryöstöpumppaus, pintavesien säännöstely, kuivatus, maankäytön muutokset

Merkittävimpiä pohjaveden laatuun vaikuttavia tekijöitä ja toimintoja suomalaisilla pohjavesialueilla on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Pohjaveden laatuun vaikuttavia tekijöitä ja toimintoja (Hälvä 1994).

Viime vuosina on alettu kiinnittää enemmän huomiota ympäristöön joutuviin kemikaaleihin. Useilta, etenkin kaatopaikkojen, sahojen tai teollisuuslaitosten vaikutusalueella olevien pohjavesialueiden vedenottoamolta onkin löydetty vaihtelevia pitoisuuksia erilaisia orgaanisia yhdisteitä.



Monien kemikaalien vaikutuksista pohjavesiin on kuitenkin vain vähän tietoja saatavilla, eikä kaikkia pohjavedenottoitakaan ole vielä tutkittu näiden aineiden osalta. Kemialliset yhdisteet muodostavat ongelman lähinnä sen vuoksi, että hyvinkin pienet ainemäärät riittävät saastuttamaan suuren pohjavesialueen. Aineiden raja-arvot talousvedessä ovat vain muutamia kymmeniä tai satoja mikrogrammoja litrassa. Pohjavesiin päästyään useiden yhdisteiden luontainen puhdistuminen on vähäistä etenkin hiekkamailla eli juuri tärkeimmillä pohjavesialueilla.

Seuraavassa on käsitelty yksityiskohtaisemmin eräitä suomalaisilla pohjavesialueilla tapahtuvia merkittäviä toimintoja, jotka usein uhkaavat pohjaveden laatua.

#### 4.4.2 Maa-ainesten ottaminen

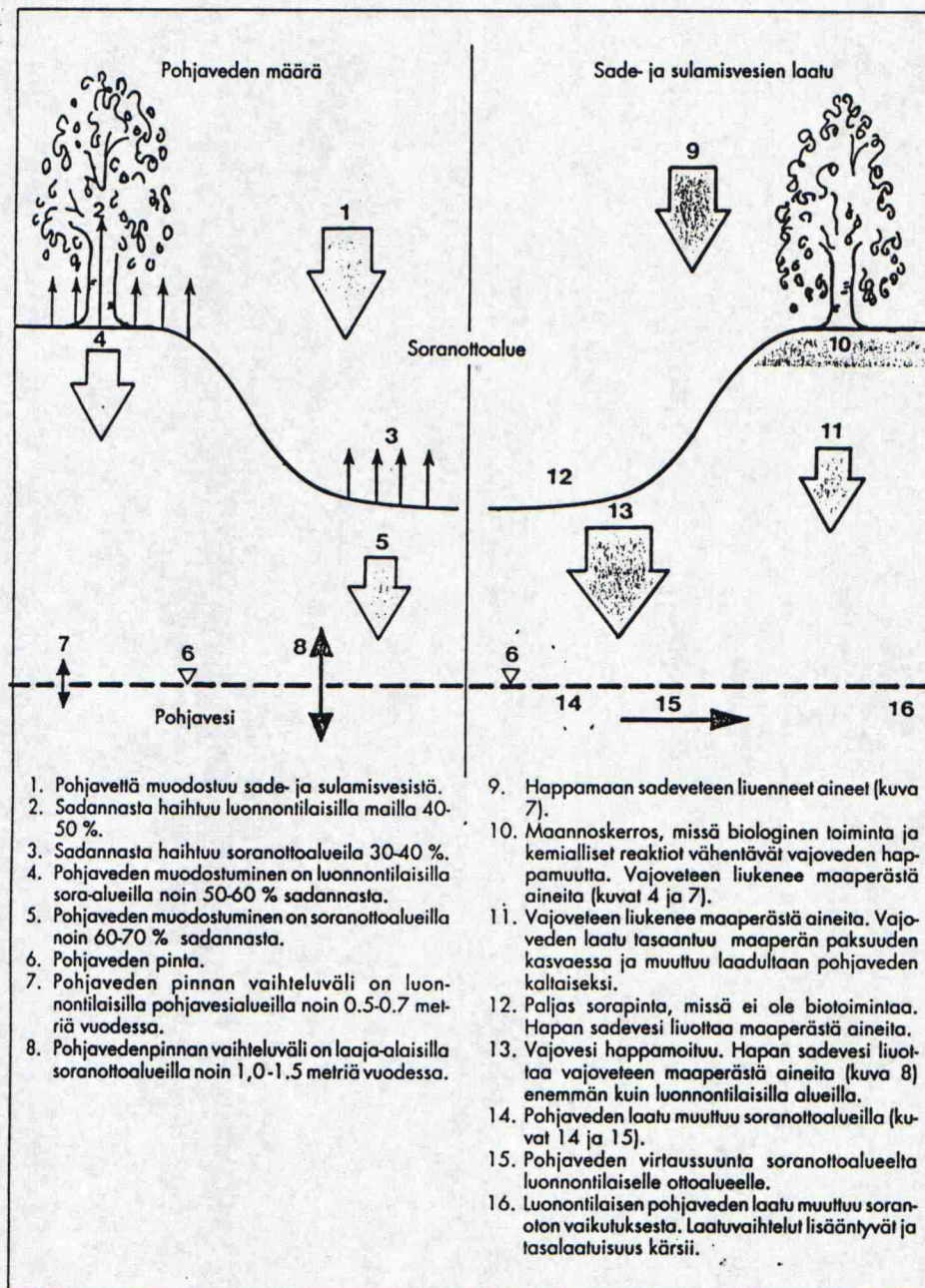
Valtaosa maamme teknisesti käyttökelpoisesta sorasta ja hiekasta on harjuissa ja reunamuodostumissa (Hatva *et al.* 1993 b) eli samoilla alueilla merkittävimpien pohjavesiesiintymien kanssa. Siten ristiriitaa pohjaveden suojelun ja vapaan soranoton etujen välillä ei usein voida välttää. Soranotto onkin yleisin pohjaveden laatua uhkaava toiminto. Toisaalta soran ottaminen harjualueilta on taloudellisesti erittäin merkittävää eikä sitä saa rajoittaa pohjavesien suojelun verukkeella, ellei uhka pohjaveden laadun heikkenemisestä ole todellinen.

Maa-ainesten oton vaikutuksia pohjaveteen on tutkittu runsaasti vuosina 1983 - 1993 käynnissä olleessa vesi- ja ympäristöhallituksen, geologian tutkimuskeskuksen ja tiehallituksen yhteistyöprojektissa "Soranoton vaikutus pohjaveteen". Projektin loppuraportin mukaan soranotto vaikuttaa pohjaveden laatuun ja määrään sekä lisää selvästi pohjaveden likaantumisriskiä (Hatva *et al.* 1993 b).

Merkittävin pohjaveden laadun muutoksia aiheuttava tekijä soran otossa on suojaavan maannoskerroksen poistaminen pohjavesialueelta. Tämän seurauksia on havainnollistettu kuvassa 3. Erityisen selvästi veden laadun muutokset näkyvät vajovedessä. Mikäli soranottoalue on laaja, vaikutukset ulottuvat myös pohjaveteen. Paljaan sorapinnan alapuolella vajoveden sähkönjohtavuus ja kovuus sekä natriumin, kaliumin, sulfaatin, nitraatin, piihapon, alumiinin ja orgaanisen aineksen pitoisuudet ovat korkeampia kuin luonnontilaisilla alueilla. Vajoveden mukana huuhtoutuu sekä laskeumassa tulleita että maa-ainekseen aiemmin kiinnittyneitä suoloja ja orgaanista ainesta.



Happamuus lisääntyy sekä vajo- että pohjavedessä. Happamoituminen on paljaan sorapinnan alla voimakkaampaa kuin luonnontilaisilla alueilla. Happamoitumisen seurauksena nousee myös vajoveden alumiinipitoisuus. Monet lika-aineet ja mikrobit kuten bakteerit, virukset, typpiyhdisteet, orgaaninen aines ja raskasmetallit pidättyvät verraten hyvin maannoskerrokseen tai hajoavat biologisen toiminnan seurauksena. Paljaan sorapinnan alapuolella lika-aineet kulkeutuvat helposti maaperään ja pohjaveteen (Hatva *et al.* 1993 a).



Kuva 3. Pintamaan poiston vaikutus vajo- ja pohjaveden laatuun ja määrään (Hatva *et al.* 1993 a).



Paljaan sorapinnan alla vajoveden määrä on vähentyneen haihdunnan takia noin 10 - 15 % suurempi kuin luonnontilaisilla alueilla. Vajoveden määrä reagoi sorapinnan alapuolella myös herkemmin sateisiin kuin luonnontilassa. Pieni keväthaihdunta ja sorakuoppiin kasaantuvan lumen nopea sulaminen lisäävät pohjaveden määrää ja aiheuttavat pohjavedenpinnan nousun keväisin poikkeuksellisen korkealle (Hatva *et al.* 1993 a).

Maannoskerroksen puutteesta johtuvia muutoksia pyritään estämään jättämällä riittävät suojakerrokset ylimmän pohjavesipinnan päälle ja jälkihoitamalla alue heti ottotoiminnan loputtua. Silmämääräinen maannoskerroksen paksuus luonnontilaisilla alueilla ylettyy 0,3 - 0,5 metrin syvyydelle maan pinnasta. Maaperässä tapahtuvat kemialliset muutokset eli maannosvyöhyke ulottuu kuitenkin noin 1,5 - 2,5 metrin syvyydelle (Hatva *et al.* 1993 a).

Yleensä soran ottaminen sinänsä ei aiheuta pohjaveden laadussa sellaisia muutoksia, jotka johtaisivat veden laatuvaatimusten ylityksiin. Poikkeuksena on hyvin happamilla pohjavesialueilla tapahtuva pohjaveden pinnan alapuolinen soran ottaminen, joka voi johtaa suuriin raskasmetallipitoisuuksiin. Soran ottaminen nostaa nitraattipitoisuuksia, mutta ei terveydelle vaaralliselle tasolle. Pintaveden ja erityisesti suoveden pääsy pohjavesialueelle aiheuttaa orgaanisen aineksen kasvua ja kemiallisen hapenkulutuksen nousun yli laatuvaatimusten sekä happamuuden lisääntymistä. Tämä vaikeuttaa myös raudan ja mangaanin poistoa biologisilla menetelmillä pohjavedestä. Orgaanisista aineksista johtuvia ongelmia esiintyy erityisesti Pohjanmaan matalilla harjualueilla (Hatva *et al.* 1993 a).

Soranottoon läheisesti liittyviä likaavia toimintoja pohjavesialueilla ovat (Hatva *et al.* 1993 a):

- maansiirtokoneiden ja polttoainesäiliöiden öljyvuodot
- kiviaineksen murskaus-, seulonta- ja pesulaitoksien öljy- ja kemikaalivuodot
- öljysora- ja asfalttiasemien öljy- ja kemikaalivuodot
- pesulietteen ja öljysoran varastoista liukenevat aineet
- tiesuolan varastoista liukeneva suola
- kaatopaikat, jätteiden kätkeminen, jätekasat
- sorakuoppien täyttö jätemailla ja ylijäämämassoilla
- pölynsidontasuolojen käyttö
- pesulietteen käyttö jälkihoidossa



Tärkeillä pohjavesialueilla tulee aina vaatia maa-ainesten ottamisen yhteydessä ottamissuunnitelmaa. Tästä suunnitelmasta tulee käydä ilmi seuraavat seikat (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991 a):

- ottoalueen sijainti
- oton ajoitus
- ottosyvyydet  $N_{60}$ -tasossa sekä suojakerrospaksuudet
- mitatut pohjaveden ja mahdollisen orsiveden korkeustiedot havaintopäivämäärineen. Jos pohjaveden pinta on hyvin syvällä, voidaan nämä tiedot esittää arviona, kunhan ne oton edistyessä tarkennetaan mittaamalla
- tiedot maaperän rakenteesta ja erityisesti tiiviiden reunakerrosten sijainnista
- huolellinen arvio hankkeen vaikutuksista pohja- ja pintavesiin
- tiedot kaivutavasta ja ottoon liittyvistä toiminnoista kuten palavien nesteiden varastoinnista, konekalustosta, koneiden huollosta jne. sekä näihin liittyvistä työn aikaisista suojoimenpiteistä
- tiedot alueen jälkihoidosta ja sen ajoituksesta
- tiedot hankkeen vaikutusalueen kaivoista ja pohjavedenottoamoista
- tiedot alueen jälkikäytöstä

Tärkeillä pohjavesialueilla voidaan lupaehdoissa määrätä suoritettavaksi velvoitetarkkailu, jossa seurataan pohjaveden pinnankorkeuksia sekä tärkeimpiä veden laatuparametreja. Maa-ainesten ottohankkeesta annettavassa lausunnossa vesi- ja ympäristöviranomaisen on selvitettävä pohjavesialueen kokonaiskuvan hahmottamiseksi (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991 a):

- paljonko alueelta on jo otettu maa-ainesta
- jo myönnetty, voimassa olevat maa-ainesluvut
- arvio maa-ainesten oton jatkumisesta alueella

#### 4.4.2.1 Suojakerrospaksuudet

Keskeinen asia maa-aineslupien lupaehdoissa on sallittujen ottosyvyyksien määrittäminen. Suojakerroksen paksuus lasketaan ylimmästä luonnontilaisesta pohjavesipinnasta alkaen, koska pohjaveden noustessa maannosvyöhykkeeseen se liuottaa maaperään adsorboituneet ainekset takaisin veteen. Ylimmän pohjavesipinnan määrittäminen tapahtuu vähintään viiden vuoden ajan ainakin neljä kertaa vuodessa suoritettavalla pinnankorkeuksien mittauksella. Yleensä pohjavesipin-



nat ovat Suomessa korkeimmillaan joko lumen sulamisen jälkeen keväällä tai syyssateiden aikana. Ellei riittävän tarkkaa pohjavesipintojen seuranta ole suoritettu, tulee suojakerroksia suurentaa. Esimerkiksi vedenotosta johtuvaa pinnankorkeuden alenemaa ei saa käyttää hyväksi ottamisen ulottamiseksi syvemmälle vaan kyse on nimenomaan luonnontilaisesta pohjavesipinnasta. (Hatva *et al.* 1993 a).

Seuraavassa esitettävät suojakerrospaksuuksia koskevat suositukset perustuvat vesi- ja ympäristöhallituksen ohjeeseen nro 49 sekä Soranoton vaikutus pohjaveteen -tutkimuksen tuloksiin.

Kaikissa osissa pohjavesialuetta ja varsinkin reunavyöhykkeellä tulee välttää sellaista maa-ainesten ottoa ja ojien tai maaleikkausten tekoa sekä muita toimenpiteitä, joista voi aiheutua pintavesien, suovesien tai huonolaatuisen pohjaveden kulkeutumista pohjavesialueelle tai haitallista sekoittumista hyvälaatuiseen pohjaveteen taikka haitallista pohjaveden purkautumista tahi pohjavesipinnan laskua pohjavesialueella (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991 a).

Lähisuojavaiohykkeellä maa-ainesten otto on kokonaan kielletty niillä lähisuojavaiohykkeen osilla, joilla sitä ei vielä ole aloitettu tai se on ollut vähäistä. Jo avatuilla alueilla havaitun luonnontilaisen pohjavesipinnan päälle on jätettävä vähintään 4-6 metrin paksuinen suojakerros. Asianmukaiset jälkihoitotoimenpiteet on suoritettava vaiheittain oton edistyessä. Ottotoimintaa ei saa laajentaa avattujen ottoalueiden ulkopuolelle (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991 a).

Kaukosuojavaiohykkeellä maa-ainesten otto on yleensä sallittua, mutta pitkäaikaisen ylimmän havaitun luonnontilaisen pohjavesipinnan päälle on jätettävä hydrogeologisista olosuhteista riippuen 2-3 metriä paksu suojakerros. Lisäksi on suoritettava asianmukaiset jälkihoitotoimenpiteet. Mikäli pohjavedenpinnan yläpuolinen maakerros on alle 5 metriä, maa-ainesten ottoa ei tule sallia. Pohjavedenpinnan alapuolinen maa-ainesten otto on sallittua vain vanhojen lammikoituneiden ottoalueiden jälkihoidossa ja kunnostuksessa. Tällöinkään lammikoita ei saa laajentaa. Pienet lammikot suositellaan täytettäväksi puhtaalla vettä hyvin läpäisevällä kivennäismaalla (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991 a).



#### 4.4.3 Kaatopaikat

Suomessa on satoja käytössä olevia yhdyskuntajätteiden ja teollisuuden kaatopaikkoja. Lisäksi on runsaasti jo käytöstä poistettuja, mutta yhä maaperää ja pohjavettä saastuttavia kaatopaikkoja. Kaatopaikkojen määrä on kuitenkin selvästi laskemassa määräysten kiristymisen myötä. Suotovesien käsittelyä ei suomalaisilta kaatopaikoilta vaadita eikä sitä myöskään suoriteta. Uusilta kaatopaikoilta on kuitenkin alettu edellyttää suotovesien keräilyä (Taskinen 1994). Merkittävä osa etenkin käytöstä poistetuista kaatopaikoista sijaitsee pohjavesialueilla muodostaen näin merkittävän riskin pohjaveden laadulle.

Kaatopaikoilta valuvan suotoveden laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat (Taskinen 1994):

- jätteen laatu
- kaatopaikan sisäiset prosessit
- kaatopaikan koko ja ikä
- kaatopaikan hoitotoimenpiteet
- täytön korkeus
- vesiolosuhteet
- ilmasto-olosuhteet
- vuodenaika

Suomalaisten yhdyskuntajätteiden kaatopaikkojen suotovedet ovat kansainvälisesti vertailtuna yleensä laimeita esimerkiksi kemiallisen hapenkulutuksen osalta ja tämän takia suotovesien puhdistustakaan ei ole pidetty kovin tärkeänä. Laimeisiin suotovesiin ovat syynä lähinnä matalat täytöt, täytemaan suuri osuus täytteestä sekä kylmän ilmaston aiheuttama hidas hajoaminen (Pelkonen Markku 1994).

Kaatopaikkojen suotovesien laatu vaihtelee huomattavasti eri komponenttien suhteen. Nuoren kaatopaikan suotovesi sisältää runsaasti orgaanisia happoja, typpeä, kiintoainetta, rautaa ja liuenneita suoloja (Crawford & Smith 1985). Kaatopaikan vanhetessa helposti hajoava orgaaninen aines pilkkoonuu ja suotoveden orgaanisen aineksen pitoisuus pienenee ja muuttuu vaikeasti hajoavaksi (Reinikainen & Tanskanen 1992). Lisäksi kaatopaikkojen suotovedet voivat sisältää vaihtelevia määriä erilaisia kemikaaleja sen mukaan, millaisia yhdisteitä alueella on esimerkiksi teollisuudessa käytetty ja kaatopaikalle tuotu.



Kaatopaikan vaikutus näkyy yleensä lähes kaikissa pohjaveden laatuparametreissa. Hyviä kaatopaikkaindikaattoreita pohjavesissä ovat muun muassa typen yhdisteet sekä kloridit. Kloridien etuna on se, että niiden muuntuminen pohjavedessä on vähäistä.

#### 4.4.4 Teollisuus

Pohjavesialueella sijaitseva, kemikaaleja tai muita pohjavedelle vaarallisia aineita käyttävä teollisuus on aina potentiaalinen riskitekijä pohjaveden laadulle. Päästöt, joita teollisuusalueilta voi tulla, vaihtelevat suuresti sen mukaan, millaista teollisuutta alueella on. Pahimpia potentiaalisia riskitekijöitä teollisuudessa ovat seuraavia toimintoja harjoittavat laitokset (Assmuth *et al.* 1989):

- puutavaran ja puutuotteiden valmistus
- massan, paperin ja paperituotteiden valmistus
- painanta- ja graafinen teollisuus
- kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus
- asfalttiasemat, öljy- ja kivihiilituotteiden valmistus
- kumi- ja muovituotteiden valmistus
- metallien ja metallituotteiden valmistus
- koneiden ja laitteiden valmistus
- sähkön, lämmön ja kaupunkikaasun tuotanto
- huoltamot, korjaamot ja romuttamot
- puhtaanapito- ja pesulatoiminta
- kemikaalivarastot

#### 4.4.5 Maatalous

Pääasialliset maatalouden aiheuttamat riskit pohjavesille syntyvät lietelannan pääsystä pohjavesiin säiliöistä tai lannoituksen yhteydessä sekä lannoitteiden ja torjunta-aineiden käytöstä nurmikasvien ja erityisesti viljan viljelyssä. Muita mahdollisia päästölähteitä ovat tuorerehun säilöntäaineen valuminen tuorerehun paalauksen yhteydessä sekä pesu- ja desinfiointiaineiden käyttö.



Yleisimmin maatalouden vaikutus näkyy keino- ja lietalannan käytöstä johtuvasta nitraattien kohoamisesta. Lisäksi yleistä on kaliumin ja fosforin pitoisuuksien kasvu keinolannoitteiden takia.

Lietelanta sisältää runsaasti suolistoperäisiä bakteereja ja lietalannan käyttö pohjavesialueella voi johtaa veden mikrobiologiseen saastumiseen, jolloin veden käyttö talousvesilähteenä on kiellettyä. Tämän terveysvaikutuksen takia lietalannan käyttö voidaan kieltää pohjavesialueella terveyden- suojelulain perusteella.

Torjunta-aineiden ja tuorerehun säilöntäaineiden käytöstä voi maaperään joutua terveydelle haitallisia kemikaaleja. Torjunta-aineet ovat usein orgaanisia klooriyhdisteitä ja tuorerehun säilöntäaineet happoja. Nykyisin käytettävissä ilmatiiviissä muovipaaaleissa säilöntäaineet voidaan jättää kokonaan pois.

Paikallisesti ongelmia voivat aiheuttaa turkistarhat, joita on runsaasti esimerkiksi Pohjanmaalla. Turkistarhojen aiheuttama pohjavesiriski johtuu eläinten ulosteiden ja virtsan vaikutuksesta. Ne vaarantavat pohjaveden hygieenisen tilan sekä nostavat sen nitraattipitoisuutta.

#### 4.4.6 Tiet ja liikenne

Tiet kulkevat Suomessa suureksi osaksi harjuja pitkin, koska tien pohjan tekeminen harjuille on routimattoman ja kantavan materiaalin takia edullista ja koska kulkureitit myös historiallisista syistä ovat niille asettuneet. Tiet muodostavat pohjavesien kannalta kaksitahoisen ongelmakentän. Yhtäältä asfalttiteiden suolaus liukkauden sekä hiekkateiden suolaus pölyämisen estämiseksi aiheuttaa suolapitoisuuksien nousua pohjavesissä. Toisaalta teitä pitkin kuljetettavat vaaralliset aineet voivat onnettomuustapauksessa aiheuttaa nopeasti pohjavesiesiintymän lopullisen pilaantumisen.

Asfalttiteiden liukkauden torjuntaan käytetään natriumkloridia sen jäätä sulattavan ominaisuutensa vuoksi. Tiesuolan käyttö lisääntyi voimakkaasti 1980-luvun lopulla. Pohjavesialueilla olevilla pääteillä käytettiin vuosina 1981 - 1993 5,5 - 25 tonnia tiesuolaa tiekilometrille vuodessa. Nykyisin suolan käyttöä on vähennetty suolaustekniikkaa kuten liuossuolausta kehittämällä ja jättämällä teitä esimerkiksi Kuopion läänissä koeluontoisesti suolaamatta. Vuonna 1993 suolan käyttö määrä oli



6,5 tonnia kilometrille (Käyhkö 1994).

Sekä natrium- että kalsiumkloridin käyttö pohjavesialueella lisää pohjaveden kloridipitoisuutta joka heijastuu sähkönjohtokyvyn arvoissa. Kloridipitoisuuden lisääntyminen puolestaan aiheuttaa veden korroosio-ominaisuuksien kasvua. Tästä syystä EU:n kloridipitoisuuden raja-arvo talousvedessä on 25 mg/l. Luontainen kloridin taustapitoisuus harjualueilla on muutamia milligrammoja litrassa. Kloridipitoisuuksia mitattaessa on otettava huomioon, että kloridi kulkeutuu akviferin pohjalla. Merkkiaineliuoksena käytetyn kyllästetyn ruokasuolaliuoksen on todettu painuvan alle tunnissa 10 metriä paksun pohjavesikerroksen pohjalle, vaikka pohjaveden virtausnopeus oli tutkimusalueella kokeen aikana yli 100 m/d (Kuusinen 1992).

Tiesuoloille on etsitty myös korvaavia aineita mutta tällaisten suoloja korvaavien kemiallisten, luonnonleivien, aineiden käyttö ei ole suotavaa, sillä aiheutetut ongelmat voivat olla paljon vakavampia kuin suolojen aiheuttamat. Kalsiumkloridia korvaavista aineista mielenkiintoinen on magnesiumkloridi, jonka käyttö vastaavaan pölynsidontaan vähentäisi kloridipäästöjä noin 20 % pienemmän kloridipitoisuutensa takia (Miettinen & Pöyhönen 1993).

Vaarallisten aineiden kuljetukset voivat onnettomuustapauksissa johtaa pohjavesialueen pilaantumiseen. Onnettomuustapauksessa on ensin selvitettävä maahan joutuneen aineen kemialliset ominaisuudet ja suunniteltava sen poistaminen sitten niiden mukaisesti. Esimerkiksi haihtuvia yhdisteitä ei saa peittää, jotta niiden haihtuminen olisi mahdollisimman tehokasta.

Tien ja liikenteen likapäästöjä pohjavesiin on ryhdytty nykyisin torjumaan ennakolta tekemällä tärkeille pohjavesialueille teiden luiskiin suojaukset estämään suolojen sekä muiden vieraiden aineiden pääsyä pohjaveteen. Suojauksen tarkoituksena on johtaa hulevedet tai onnettomuustapauksessa vieraat aineet pois pohjavesialueelta tai pidättää niitä ojassa vähintään 12 tunnin ajan, jolloin torjuntatoimenpiteet ehditään suorittaa. Suojaus perustuu paksuhkon, noin 0,7 metrin tiiviin maakerroksen tai muovitetun kuitukankaan levittämiseen tien luiskaan. Tämän päälle tulee noin 0,3 metrin maakerros, joka toimii kasvualustana ja suojaa samalla alemmaa kerrosta kuivumiselta ja vaurioilta. Lisäksi sivuojien muotoilulla voidaan vähentää autojen kaatumisriskiä (Tielaitos 1991). Vaativimmissa kohteissa käytetään tiiviinä maakerroksena bentoniittiä, joka muodostaa lähes läpäisemättömän luiskarakenteen. Tiesuojauksen kustannukset bentoniitillä ovat noin 60 mk/m<sup>2</sup> ja kuitukankaalla 35 mk/m<sup>2</sup> (Käyhkö 1994).



#### 4.4.7 Jätevedet

Jätevettä voi päästä maaperään esimerkiksi jäteveden maaperäimeytyksen seurauksena, rikkonaisista viemäreistä, sakokaivoista ja säiliöistä sekä tyhjentämättä jääneistä umpisäiliöistä. Jätevesien maahanpääsy aiheuttaa pohjaveden hygieenisen laadun pilaantumisen. Veden hygieenistä tilaa mitataan indikaattoribakteerien avulla, koska monimuotoisesta bakteerikasvustosta ei voida määrittää kaikkia olemassaolevia bakteerikantoja.

Useimmat haitalliset bakteerit ja virukset häviävät maaperässä ja pohjavedessä 50 - 60 vuorokauden kuluessa. Tätä aikamäärää käytetään myös lähisuojavyyhykkeen määrittämisessä raja-arvona. Eräiden tutkimusten mukaan osa bakteerilajeista pystyy elämään pohjavesiolosuhteissa huomattavasti tätä kauemminkin (Filip *et al.* 1988).

Jäteveden tunkeutuessa maaperään suolistoperäisten bakteerien määrä vähenee bakteerien kuollessa, siivilöityessä ja adsorboituessa pintoihin (Lance 1984). Pohjavesialueiden karkeissa maalajeissa siivilöityminen ja adsorboituminen eivät ole kovin merkittäviä tekijöitä pienen ominaispinta-alan omaavan maa-aineksen takia. Sen sijaan kuoleminen on merkittävä tekijä. Maaperässä luonnostaan kasvavat bakteerit ovat sopeutuneet ympäristöönsä ja pystyvät kilpailussa ravinteista yleensä eliminoimaan mahdolliset patogeenibakteerit. Lisäksi pohjavesialueilla pohjaveden yläpuolinen kerros on hyvän vedenjohtavuutensa ansiosta ajoittain hyvinkin kuiva. Kuivuus hävittää tehokkaasti viruksia maaperästä. Akviferien lämpötila soveltuu sen sijaan hyvin virusten elinympäristöksi. Lämpötila-alueella 3 - 10 °C virukset säilyvät maaperässä pitempään kuin lämpötila-alueella 18 - 23 °C (Gerba and Bitton 1984). Mikäli maan luonnollinen pintakerros ja sen mukana maaperän oma bakteerikanta poistetaan on patogeenien mikrobien pääsy pohjavesiin hyvin mahdollista. Riittävä suojakerrospaksuus pohjavesipinnan yläpuolella edesauttaa bakteerien kuolemista ennen niiden pääsyä pohjavesiin (Kuusinen 1993).

#### 4.4.8 Ampumaradat

Ampumaratojen toimintaan pohjavesialueilla on viime vuosina alettu kiinnittää huomiota. Lähinnä huomion kohteena ovat olleet lyijy-yhdisteet, koska lyijy on terveydellisiltä haittavaikutuksiltaan merkittävimpiä raskasmetalleja. Haulikon haulit sisältävät 97 % lyijyä, 2 % antimonia sekä noin



0,5 % arsenikkia ja nikkeliä. Luotiasien luodit sisältävät noin 90 % lyijyä, 9 % kuparia ja 1 % sinkkiä (Tanskanen *et al.* 1990). Lyijyn määrä haulikkoradoilla on merkittävä. Esimerkiksi Oulunsalossa pohjavesialueella sijaitsevalle ampumaradalla lyijykuorma on 30 000 kg alueella, jonka suuruus on 200 m \* 400 m, eli 0,4 kg/m<sup>2</sup> (Tanskanen *et al.* 1990). Kenttäkokeista sieltä on löydetty maan pintakerroksesta 10 cm \* 10 cm kokoiselta alueelta yli 400 haulia. Uutuskokeissa lyijyn on todettu liukenevan, jos veden pH on alle 4 (Leppänen Tapio 1994). Näin matalia pH-arvoja maaperän pintakerroksessa esiintyy vain hyvin happamien sateiden aikana.

Sekä kotimaisissa että ulkomaisissa tutkimuksissa on havaittu lyijyn kulkeutuvan hyvin heikosti maaperässä. Soranoton vaikutus pohjaveteen - tutkimusprojektin yhteydessä tutkittiin myös raskasmetallien kulkeutumista maaperässä. Tutkimuksessa sadetettiin tutkimusalueelle 30 mm vettä, jonka lyijypitoisuus oli 1 mg/l. Luonnontilaisella alueella eri syvyyksillä olevista lysimetreistä otetuissa näytteissä kaikki vajoveden lyijypitoisuudet olivat alle määritysrajan 0,5 µg/l. Paljaan sorapinnan alla olevista lysimetreistä tavattiin satunnaisia määritysrajan ylittäviä lyijypitoisuuksia (Sandborg 1993). Oulunsalossa maaperän lyijypitoisuudet olivat pieniä jo 10 - 30 senttimetrin syvyydellä eikä pohjavedestä ole havaittu yli määritysrajan (5 µg/l) olevia lyijypitoisuuksia (Tanskanen *et al.* 1990). Helsingin Viikinmäen ampumaradalla lyijypitoisuudet putosivat 20 cm:n syvyydellä jo luontaisen taustapitoisuuden tasolle useimmissa tutkimuspisteissä. Osassa pisteitä lyijyn pitoisuus oli kuitenkin selvästi luonnontilaisesta kohonnut vielä 0,5 metrin syvyydellä. Viikinmäessä myös pohjaveden lyijypitoisuus oli korkea 405,0 µg/l (Tanskanen *et al.* 1990). Ulkomaisissa tutkimuksissa lyijyn ei ole todettu kulkeutuneen syvemmälle kuin 35 - 40 senttimetrin syvyydelle (AFEMS 1994). Poikkeus on hapan hiekkamaa, missä kohonneet lyijypitoisuudet ovat yltäneet metrin syvyydelle (Jørgensen & Willems 1987).

#### 4.5 Lika-aineiden kulkeutuminen maaperässä

Pohjaveden saastumisen arviointi ja hallinta edellyttää perustietoa siitä, miten lika-aineet käyttäytyvät maaperässä ja miten käyttäytymiseen voidaan vaikuttaa. Maaperä on hyvin monimuotoinen ympäristö ja sen fysikaalis-kemialliset ominaisuudet vaihtelevat suuresti (Innala 1994). Lika-aineiden kulkeutuminen maaperässä riippuu fysikaalisista, kemiallisista ja biologisista prosesseista, jotka on esitetty taulukossa 1. Nämä prosessit vaikuttavat samanaikaisesti ja niiden yhteisvaikutus voi olla lika-aineiden aktiivisuutta ja kulkeutumista lisäävä tai vähentävä. Lika-



aineiden liikkeitä rajoittavat muun muassa saostuminen, adsorptio ja ioninvaihto (Laukkanen 1992).

Taulukko 1. Luonnonympäristössä vaikuttavat prosessit, jotka vaikuttavat kemikaalien kulkeutumiseen maaperässä (Tolppanen 1989).

Fysikaaliset	Kemialliset	Biologiset (biokemialliset)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- advektio</li> <li>- dispersio</li> <li>- molekyylien diffuusio</li> <li>- sekoittumattoman faasin virtaus</li> <li>- sedimentoituminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hapetus-pelkistys</li> <li>- ioninvaihto</li> <li>- kompleksin muodostus</li> <li>- liukeneminen toisen yhdisteen mukana</li> <li>- sekoittumattoman faasin eriytyminen</li> <li>- adsorptio/desorptio</li> <li>- saostuminen/liukeneminen</li> <li>- hydrolyysi</li> <li>- fotolyysi</li> <li>- flokkuloituminen</li> <li>- kolloidien muodostus</li> <li>- radionuklidien hajoaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mikropopulaatioiden dynamiikka</li> <li>- kiinnittyminen</li> <li>- metabolismi</li> <li>- mikrohajotus</li> <li>- biotransformaatio</li> <li>- käyttö substraattina</li> </ul>

Maaperään joutunut kemikaali kulkeutuu joko veteen liuenneena yhden faasin tai veteen liukenemattomana useamman faasin virtauksessa. Veteen liukenematon yhdiste voi olla kevyempää tai raskaampaa kuin liikkuva vesi. Tästä johtuen sekoittumaton kemikaali voi liikkua pohjaveden päällä, sisällä tai akviferin pohjalla. Liukenemattoman yhdisteen kulkeutumiseen vaikuttavat pääasiassa kemikaalin tiheys ja dynaaminen viskositeetti. Veteen liuenneen yhdisteen kulkeutumiseen vaikuttavat lähinnä advektio, dispersio, sorptio sekä biologinen ja kemiallinen muuttuminen (Tolppanen 1989).



## 5. Suojelutoimenpiteet

### 5.1 Olemassa olevat toiminnot

Pohjaveden likaantuminen on aina koetettava estää etukäteen. Tämän takia kaikki riskitoiminnot täytyy pyrkiä poistamaan kokonaan tai siirtämään pois pohjavesialueelta. Läheskään aina tämä ei ole mahdollista. Sellaiset toiminnot, joiden siirtäminen pohjavesialueelta on jostakin syystä mahdotonta tai erittäin vaikeaa, tulee suojata mahdollisimman hyvin. Tällöin tulevat kysymykseen riittävät suojakerrokset ja maisemointi soran otossa, alueella olevien öljy- ja kemikaalisäiliöiden suojaaminen ja maanalaisten säiliöiden poistaminen tai esimerkiksi maanteiden ojien suojaaminen suolausta ja onnettomuuksia vastaan. Joissakin tapauksissa esimerkiksi teollisuuslaitoksissa voi onnistua prosessin muuttaminen vähemmän riskialttiiksi vaikkapa vaihtamalla käytettävät puhdistuskemikaalit pohjavedelle haitattomiksi.

Olemassa olevien toimintojen siirto on vaikeaa saada toteutetuksi muuten kuin vapaaehtoisesti. Toiminnot voidaan velvoittaa siirtämään vain, jos niistä on selvästi terveydellistä haittaa terveydensuojelulain perusteella tai vesilain perusteella silloin, kun toiminta on pohjaveden pilaamis- tai muuttamiskielloin vastaista. Myös soran ottaminen voidaan lopettaa maa-aineslain perusteella peruuttamalla maa-aineslupa. Maa-ainesluvan peruuttaminen edellyttää kuitenkin törkeää tai jatkuvaa lupaehtojen rikkomista (Luhtanen 1988). Vanhojen laitosten toiminnot, joille on aikanaan saatu terveydenhoitolain edellyttämät luvat katsotaan terveydensuojelulain mukaisiksi viimeksi mainitun lain 62 §:n säännösten mukaisesti.

Vanhojen toimintojen suojaaminen maaperän virtausolosuhteita muuttamalla tulee kysymykseen lähinnä onnettomuustapausten vahinkojen ehkäisemisessä. Menetelmää voidaan soveltaa mikäli maaperän ominaisuudet tunnetaan hyvin. Suojapumppaussuunnitelma on laadittu esimerkiksi Kymenlaakson vesi Oy:n Utin tekopohjavesilaitokselle. Siellä voidaan suojaimeytyksin katkaista maantiellä tapahtuneen onnettomuuden jälkeen virtaus valtatieltä nro 8 vedenottamolle (Laukkanen *et al.* 1991).

Bentoniittia ja ponttiseinämiä voidaan käyttää pistemäisen päästölähteen eristämiseen muusta akviferista. Näitä menetelmiä on käytetty toistaiseksi melko vähän. Suurimpia yksittäisiä eristyksiä on ollut Lapinlahden vanhan kaatopaikan eristäminen kesällä 1994.



## 5.2 Uudet toiminnot

Uusiin toimintoihin, jotka olisivat tulossa pohjavesialueelle, voidaan yleensä vaikuttaa helpommin kuin vanhoihin. Uudet toiminnot tarvitsevat ympäristölupaan sisältyvän terveydensuojelulain mukaisen sijoituspaikkaluvan mikäli toiminnasta voi aiheutua terveydellistä haittaa. Vesioikeuden lupa vaaditaan toiminnalta, mistä voi aiheutua pohjaveden muuttamiskiellon vastaisia seurauksia.

Terveydensuojelulain mukaisen sijoitusluvan vaativat tehtaات, laitokset tai varastot, joista voi aiheutua terveydellistä haittaa. Terveydensuojeluasetuksen luettelo tällaisista toiminnoista sisältää pohjaveden kannalta tärkeitä laitoksista muun muassa monet vaarallisia aineita käsittelevät tehtaات, puunkyllästämöt, kaatopaikat ja jätteenkäsittelylaitokset, murskaamot ja asfalttiasemat. Sijoituspaikkaluvassa voidaan asettaa lupaehtoja, vaikka asiasta ei ole annettu oikeussäännöksiä. Ehtojen tulee olla kuitenkin tarpeellisia nimenomaan terveydelliseltä kannalta. Sijoituspaikkalupaa ei saa myöntää, jos ehdoilla ei voida riittävästi rajoittaa terveyshaittoja. Luvan myöntää kunnan ympäristölupaviranomainen (Aurola 1992).

## 5.3 Valvonta ja seuranta

Eri lakien mukaiset seurantaviranomaiset vaihtelevat melkoisesti pohjaveden suojeluun liittyvässä lainsäädännössä. Pohjaveden suojelu voisi olla tehokkaampaa, mikäli eri säädöksillä määrätty valvontavastuu olisi keskitetty yhdelle valvontaviranomaiselle. Esimerkiksi maa-aineslain mukainen valvontavastuu voisi kuulua ympäristöalan viranomaisille jo suorien lainsäädännöllisten säännösten perusteella.

Vesilain valvontasäännökset on kirjattu vesilain 20. ja 21. lukuun. Vesilain mukaisten toimien yleinen valvonta kuuluu vesi- ja ympäristöpiirille ja paikallisena valvontaviranomaisena toimii ympäristönsuojelulautakunta tai muu sen tehtäviä hoitava kunnallinen viranomainen. Se voi määrätä jonkin työn suoritettavaksi teettämisen uhalla säännöksen rikkojan kustannuksella. Jos viranomainen havaitsee, ettei vesilain säännöksiä ja määräyksiä tai sen antamaa kehotusta ole noudatettu tai asia vaatii erityistä selvitystä, sen on ilmoitettava asia vesi- ja ympäristöpiirille. Yleisen edun vaatimuksesta tai sen ilmoituksesta, jota asia koskee, valvontaviranomaisen on ilmoitettava asiasta viralliselle syyttäjälle tai ryhdyttävä toimenpiteisiin laittoman tilan oikaisemiseksi-



si (Luhtanen 1988).

Terveystensuojelulain mukainen valvonta kuuluu terveystenslautakunnalle. Valvonta perustuu sijoituspaikkaluvan lupaehtojen ja em. säännösten seurantaan. Mikäli lupaehtoista huolimatta terveyshaittoja aiheutuu, voi lautakunta antaa määräyksiä haitan poistamiseksi. Äärimmäisessä tapauksessa toiminta voidaan määrätä keskeytettäväksi tai lopetettavaksi kyseisen lain 12 §:n nojalla (Aurola 1992).

Jos maa-ainesten ottamista tapahtuu maa-aineslain tai sen nojalla annetun luvan määräysten vastaisesti tai laiminlyödään lupaehtojen noudattaminen, maa-ainesten ottaminen voidaan keskeyttää. Määräyksen keskeyttämisestä antaa rakennuslautakunta, rakennustarkastaja tai joku muu näiden tehtäviä hoitava kunnallinen elin. Poliisi on tarvittaessa velvollinen antamaan virka-apua oton keskeyttämisessä. Lupaviranomainen eli normaalisti kunnanhallitus voi muuttaa lupamääräyksiä tai peruuttaa luvan mikäli

- 1) lupamääräyksiä on jatkuvasti tai muutoin törkeästi rikottu
- 2) ainesten ottaminen on ennalta arvaamattomalla tavalla vaikuttanut haitallisesti ympäristöön, asutukseen tai luonnonolosuhteisiin; tai
- 3) lupahakemuksessa on annettu vääriä tai virheellisiä tietoja tai selvityksiä (Luhtanen 1988).

## 5.4 Toimenpiteet vahinkotapauksissa

### 5.4.1 Puhdistusmenetelmät

Mikäli kaikista suojelutoimenpiteistä huolimatta pohjavesiin pääsee vieraita aineita, niiden aiheuttamia haittoja voidaan usein vähentää teknisillä puhdistusmenetelmillä. Haittojen poistaminen kokonaan ei yleensä onnistu mutta vahinkoja voidaan kuitenkin vähentää ja ehkä säästää pohjavesialue käyttökelpoisena vedenhankintaa varten. Ensiarvoisen tärkeää puhdistamisen onnistumisen kannalta on päästä torjuntatoimenpiteisiin välittömästi päästön tapahduttua. Pohjavesialueen suojelusuunnitelman avulla pyritään varautumaan ennakoitavissa oleviin onnettomuustilanteisiin. Luonnollisesti yksiselitteinen varautuminen kaikkiin mahdollisiin saastumistapauksiin on mahdotonta. Suojelusuunnitelmassa esitettävät selostukset alueen hydrogeologiasta auttavat toimenpiteiden suunnittelussa.



Mekaanisia puhdistusmenetelmiä ovat massanvaihto, likaantuneen pohjaveden poistopumppaus ja vahinkopaikan maaperän huuhtelu. Mekaanisia suojaustoimenpiteitä ovat virtaussuunnan muuttaminen pumppauksen tai imeytyksen avulla sekä eristäminen esimerkiksi ponttiseinillä tai bentonitiillä. Yksinkertaisimmillaan mekaanisia suojatoimenpiteitä ovat vedenottamalla tapahtuvat vedenottojärjestelyt. Tällaisia ovat vedenoton keskeyttäminen, ottotason muuttaminen, lisäkaivojen rakentaminen sekä poistopumppaukset (Kaupunkiliitto 1982).

Fysikaalisista puhdistusmenetelmistä käyttökelpoisia pohjaveden puhdistuksessa ovat lähinnä pohjavesilaitoksella tapahtuvat strippaus ja aktiivihiihluuodatus (Kolari ja Salkinoja-Salonen 1993).

Jos pohjaveteen päässyt lika-aine on orgaanista ja biologisesti hajoavaa, sitä voidaan poistaa biologisilla menetelmillä. Mikäli päästö on jatkunut pitkään, luontaisesti puhdistava mikrobikanta on yleensä muodostunut päästölähteen ympäristöön. Tällöin maaperä toimii suurena bioreaktorina. Luonnostaan puhdistavien bakteerien elinolosuhteiden parantamiseksi säädellään ravinnesuhteita, happamuutta ja happipitoisuutta. Maaperässä tapahtuvien menetelmien etuna on niiden taloudellisuus, koska suurten maa- ja vesimassojen siirtelyä ei tarvita (Kolari ja Salkinoja-Salonen 1993). Likaantunut pohjavesi voidaan myös pumpata maan pinnalle ja puhdistaa se biologisesti paikan päällä tai johtaa se biologiselle jätevedenpuhdistamolle (Innala 1994).

Kemiallisiakin menetelmiä voidaan periaatteessa käyttää maa-aineksen puhdistamiseen lika-aineista. Tässä toiminnassa on kuitenkin oltava hyvin varovainen, sillä puhdistusaineet voivat itse olla suurempi riski kuin alkuperäinen aine (Kaupunkiliitto 1982).

Ensimmäiset toimenpiteet esimerkiksi öljyvahingoissa ovat yleensä öljyisen maan poistamiseen liittyvät tehtävät. Tällöin on kaivettaessa kuitenkin ehdottomasti varottava rikkomasta mahdollisia tiiviitä maakerroksia kuten tiesuojauksia. Haihtuvia yhdisteitä kuten bensiiniä ei saa peittää puhdistustoimien yhteydessä (Kaupunkiliitto 1982).

Mikäli nopeilla mekaanisilla suojelu- ja puhdistustoimenpiteillä ei likaantumista saada rajoitettua tai lika-ainetta poistettua, joudutaan yleensä turvautumaan korvaaviin raakavesilähteisiin. Joissakin tapauksissa pystytään käyttämään fysikaalisia menetelmiä kuten strippausta ja aktiivihiihluuodatusta vesilaitoksella puhdistustoimenpiteinä ja saamaan näin laatuvaatimukset täyttävää vettä. Näillä menetelmillä veden yksikkökustannukset nousevat korkeiksi mutta ellei korvaavia raakavesilähteitä



ole käytettävissä, näihin menetelmiin voidaan joutua turvautumaan.

#### 5.4.2 Vastuu puhdistustoimenpiteistä

Puhdistustoimenpiteet tulee suorittaa yhteistyössä kunnan sekä vesi- ja ympäristöpiirin kanssa. Onnettomuustapauksissa ensimmäiseksi näitä puhdistustoimenpiteitä joutuvat yleensä suorittamaan palomiehet ja tämän takia esimerkiksi palopäälliköillä olisi oltava riittävä tietotaito välittömistä puhdistusmenetelmistä. Onnettomuuden aiheuttajaan on oltava yhteydessä lika-aineen laadun selvittämiseksi. Suuret puhdistusoperaatiot on syytä suunnitella yhteistyössä esimerkiksi jonkin konsulttitoimiston kanssa, jolla on kokemusta ja asiantuntemusta vastaavien tilanteiden hoitamisesta.

Välittömät kustannukset pilaamisesta maksaa saastumisen aiheuttaja. Mikäli pilaaminen ei ole tahatonta myös välilliset kustannukset tulevat korvattaviksi (Luhtanen 1988).



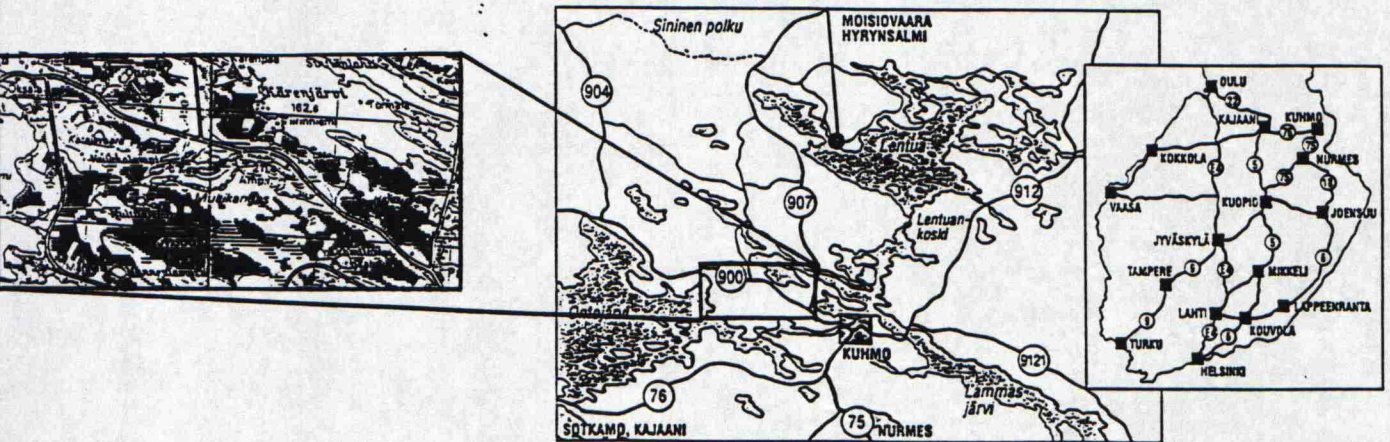
II POHJAVESIALUEEN SUOJELUSUUNNITELMA  
KUHMON MULTIKANKAALLE



## 6. Alueen kuvaus

### 6.1 Yleiskuvaus

Kuhmon Multikangas on noin viisi kilometriä Kuhmon keskustasta luoteeseen sijaitseva pitkittäisharju. Multikankaan sijainti on esitetty kuvassa 4. Harjun itäpuolisen suoalueen keskellä on vanha harjuselänne, jonka maa-ainesvarat on hyödynnetty. Tällä vanhalla soranottoalueella sijaitsee vuonna 1990 käyttöön otettu Hetesuo-vedenottamo, josta lupaehtojen mukaan saadaan pumpata pohjavettä 1000 m<sup>3</sup>/d vuosikeskiarvona laskettuna Kuhmon keskustaaajaman talousvedeksi. Varsinaisena pohjaveden muodostumisalueena toimii Multikangas, josta pohjavesi virtaa suon alaista harjun jatketta pitkin Hetesuolle. Koepumppauksen perusteella hydraulinen yhteys Multikankaan ja Hetesuo-veden välillä on hyvä (Kainuun vesipiirin vesitoimisto 1981 a). Vesi Hetesuo-vedenottamolla on laadultaan luonnontilaisen antiklinisen harjualueen veden kaltaista.



Kuva 4. Multikankaan sijainti.

Multikankaan alueella on suoritettu voimaperäistä maa-ainesten ottoa 1950-luvun loppupuolelta lähtien. Paksujen hienohiekkakerrosten ansiosta pohjavedenottamon puoleinen muodostuman itäpää on säästynyt kuitenkin luonnontilaisena. Harjun länsi- ja keskiosissa on yhtenäinen noin 2,5 kilometrin mittainen hiekan- ja soranottoalue entisen pitkittäisharjun pääharjanteen paikalla. Harjun länsipäässä on aloitettu pohjavesipinnan alainen soranotto kesällä 1994.



Multikankaan keskiosassa on Kuhmon entinen kaatopaikka, joka on ollut toiminnassa vuosina 1965-1989. Harjun etelälaidalla sijaitsee paikallisen metsästysseuran haulikkorata sekä riistanhoitoyhdistyksen luotiaseiden ampumarata. Kuhmon ja Kajaanin välinen maantie nro 900 kulkee harjulla sen pitkittäissuuntaisesti. Tien eteläpuolella harjun keskiosissa sijaitsee paikallisen tavaratalon räjähdysainevarasto.

Hetesuon vedenottamo on perustettu vanhaan sorakuoppaan. Multikankaan ja Hetesuon välillä harjun karkearakeinen ydinosa jatkuu suon alla. Suo on tällä hetkellä avo-ojitettuna suopeltona nurmikasvien viljelyssä.

Kasvillisuudeltaan harjun luonnontilaiset alueet ovat puolukkatyyppin kuivaa kangasmetsää. Multikankaan laajat soranottoalueet ovat jälkihoitamatta. Luonto on alkanut tehdä omaa maisemointityötänsä niillä rinteillä, joilla soraa ei ole otettu kymmeneen vuosiin.

Asutus alueella on vähäistä. Asuinrakennuksia on harjun pohjoisreunalla sekä vedenottamon etelä- ja kaakkoispuolella. Maanomistus alueella on yksityisillä kaupungin omistamia vedenottamo- ja kaatopaikka-alueita lukuunottamatta.

Jatkossa sijainnit alueella esitetään pääosin havaintoputkiin viitaten. Havaintoputkien paikat on esitetty liitteessä 1.

## 6.2 Merkitys Kuhmon vedenhankinnalle

Hetesuon ottamo on yksi Kuhmon keskustaajamaa palvelevista kolmesta pohjavedenottamosta. Muut vedenottamot ovat Tönölä (1500 m<sup>3</sup>/d) ja Mammankaivo (800 m<sup>3</sup>/d) (Kainuun vesipiirin vesitoimisto 1981 b). Kaikilla kolmella pohjavedenottamolla vedenkäsittelynä on alkalointi lipeällä ennen veden johtamista verkostoon. Hetesuon vedenottamo on ainoa vedenottamo, jonka veden laatu täyttää jatkuvasti talousveden laatuvaatimukset. Tönölän ottamolla on ongelmia raudan ja mangaanin esiintymisen vuoksi. Veden laatu täyttää talousveden laatuvaatimukset, kun pumppausmäärä pidetään alhaisena, noin 200 - 300 m<sup>3</sup>/d tasolla. Mammankaivon veden happipitoisuus on noin 4 mg/l, minkä takia siellä esiintyy ajoittain mangaaniongelmiä.



Kuhmon keskustaajaman verkostoon on pumpattu vuonna 1993 vettä keskimäärin 1525 m<sup>3</sup>/d. Hetesuon vedenottamon osuus tästä määrästä on ollut 945 m<sup>3</sup>/d eli 62 %. Vedenkulutuksen toteutunut ja ennustettu kehitys on esitetty taulukossa 2. Vesijohtoverkostoon liittyneiden asukkaiden määrän kasvaminen johtuu suunnitellusta lievealueiden liittamisestä taajaman vesijohtoverkostoon. Siten liittyjämäärän kasvu perustuu realistiseen arvioon.

Taulukko 2. Vedenkulutuksen toteutunut ja ennustettu kehitys Kuhmon keskustaajaman vesijohtoverkostossa (Kainuun vesipiirin vesitoimisto 1981 b ja Insinööritoimisto PSV Oy 1994 a).

vuosi	verkostoon liittyjät as.	pump.vesimäärä m <sup>3</sup> /d	ominaiskulutus l/as/d
1980	7000	2010	287
1989	7600	1872	246
1992	7700	1511	196
2000 (ennuste)	8313	1746	210
2010 (ennuste)	8360	1880	225
2020 (ennuste)	8400	2014	240

Vedenottamoiden antoisuudet riittävät pitkälle tulevaisuuteen, mikäli vedenkulutus kehittyy ennusteiden mukaisesti. Sen sijaan veden laadun raja-arvojen saavuttaminen voi tuottaa ongelmia.

Hetesuon veden laadun pysyminen käyttökelpoisena on Kuhmon vedenhankinnan kannalta ensiarvoisen tärkeää. Korvaavien raakavesilähteiden käyttöönottoaminen Kuhmossa on jatkossa entistä kalliimpaa, sillä etäisyydet esiintymistä taajamaan kasvavat merkittävän suuriksi. Ilman Hetesuon vedenottamoita kuluttajille ei pystytä muista vedenottamoista toimittamaan jatkuvasti talousveden laatuvaatimukset täyttävää vettä nykyisin käytössä olevilla käsittelymenetelmillä.

### 6.3 Pohjavesialueen suojelusuunnitelman tavoitteet

Multikankaan alueelta saatava pohjavesi on erittäin tärkeä Kuhmon talousvesihuollon kannalta. Taajamaan nähdessä läheisen sijaintinsa takia alueella on kuitenkin myös muita toimintoja. Kuhmon kaupungin vesihuollon kannalta on tärkeää selvittää, ovatko pohjaveden suojelukysymykset Multikankaalla kunnossa. Lisäksi halutaan selvittää toimenpiteitä, jotka lisääisivät taloudellisesti ja järkevästi alueen pohjaveden suojelua ja ko. muodostuman moninaiskäyttömahdollisuuksia. Näiden kysymysten selvittäminen liittyy läheisesti alueella käynnissä olevaan yleiskaavatyöhön.



## 7. Hydrogeologinen kartoitus

### 7.1 Maa- ja kallioperätutkimukset

#### 7.1.1 Yleistä

Multikankaalla on suoritettu pohjavesikysymyksiin liittyviä maaperätutkimuksia vuodesta 1980 lähtien, jolloin alettiin suunnitella muodostuman pohjaveden hyödyntämistä. Alueella on suoritettu kairauksia, maavastusluotauksia, seismisiä refraktioluotauksia, DC-luotauksia sekä maatutkaluotauksia. Osa näistä mittauksista on tehty Oulun yliopiston toimesta koemielessä laitteistojen ja tulkinnan kehittämisen yhteydessä. Kairauksia lukuunottamatta muut tutkimusmenetelmät ovat epäsuoria ja siten niiden antamiin tuloksiin pitää suhtautua varauksellisesti. Pääosin mittausten tulokset ovat kuitenkin olleet samansuuntaisia. Maaperätutkimuksia ovat suorittaneet Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri (entinen Kainuun vesipiiri) sekä Insinööritoimisto PSV Oy. Toimeksiantajina näissä tutkimuksissa ovat toimineet Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri sekä Kuhmon kaupunki. Pääosin maaperätutkimukset ovat keskittyneet entisen kaatopaikan ympäristöön.

Merkittävimpiä tutkimuskokonaisuuksia ovat olleet Kainuun vesi- ja ympäristöpiirin suorittamat vuonna 1980 tehdyt koepumppaukset ja kairaukset (Kainuun vesipiirin vesitoimisto 1981 a), vuosien 1990-1992 maavastusluotaukset kairauksineen (Keränen 1992) sekä elokuussa 1994 PSV Oy:n tekemät maatutkaluotaukset kairauksineen (Insinööritoimisto PSV Oy 1994 b). Maaperätutkimusten perusteella laadittu Multikankaan hydrogeologinen kartta on esitetty kuvassa 5.

#### 7.1.2 Kallioperä

Maaperätutkimuksissa on löytynyt harjun keskiosasta havaintoputkien 107 ja 108 ympäristöstä kalliokohouma, joka nousee paikallisesti pohjavesipinnan yläpuolelle. Tämä kallionpinta on ollut näkyvissä soran oton aikana ja soran ottajien haastattelut vahvistavat kallioharjanteen olemassaolon. Kallion päällä on tällä hetkellä vajaa metri hiekkaa. Muutamissa kohdin kallion pinta on näkyvillä noin neliön suuruisina paljastumina.

Kallion jatkuvuutta sekä sen rikkonaisuutta tutkittiin maatutkauksilla kesällä 1994. Kallion







jatkuvuutta pohjois-eteläsuunnassa ei saatu varmennettua kuin soramontun pohjan kohdalta. Pohjois-eteläsuunnassa tehtyjen poikkilinjojen perusteella kallion pinta oli korkeimmillaan montun keskiosassa ja pinta laski pohjavesipinnan alapuolelle jo soramontun reunoilla. Kalliokohouman eteläpuolella olevan putken 107 vedenjohtavuus suoritetuissa pumppauksissa on ollut hyvä. Pohjavesipinta tässä putkessa on noin 2 metriä kalliopinnan yläpuolella.

Kalliokohouma on länsiosiltaan rikkonaista. Se sisältää suuria vaakarakoja, jotka erottuivat selvästi maatutkassa. Merkittävää virtausta näitä rakoja pitkin ei kuitenkaan tapahdu, sillä kalliossa olevan havaintoputken 108 tuotto oli lokakuussa 1994 tehdyn pumppauksen perusteella vain noin 2,5 l/min. Maatutkausten perusteella kalliokynnyksen itäosa on ehjää kalliota noin 50 metrin matkalla. Tämä ehjä kallio-osuus on kuitenkin jo hieman pohjavesipinnan alapuolella (Insinööritoimisto PSV Oy 1994 b).

Kallio jatkuu pohjavesipinnan yläpuolelle kohoavan kynnyksen länsipuolelle ja se näkyy maatutkassa aina montun pohjalla tehdyn pitkittäislinjan loppuun asti kaatopaikan kaakkoispuolella. Tällä linjalla kallion pinta on tasolla noin  $N_{60} + 170$  eli noin 2,5 metriä pohjavesipinnan alapuolella. Pitkittäislinjan tutkakuvan perusteella kalliossa on suuri ruhje hieman putken 2 itäpuolella. Ruhjeen jatkuvuutta etelään tai pohjoiseen ei ole varmennettu.

Soranoton yhteydessä kalliopintaa on ollut näkyvissä myös Kuhmon Soran montun pohjalla suunnilleen putkien 4 ja 200 sijaintipaikkojen puolivälissä. Tämä kallio on muistinvaraisen tiedon mukaan ollut sileää itään päin kohoavaa kalliopintaa, joka on ollut hetkellisesti näkyvissä pieneltä alalta 1980-luvun alussa (Liukkonen Osmo 1994). Myöhemmän maa-ainesten oton ja varastoinnin yhteydessä tämä kallio on kuitenkin uudelleen jäänyt hiekan alle, eikä sen olemassaoloa voida varmistaa tällä hetkellä ilman maaperätutkimuksia.

Kesäteatterin kaivo on porattu kallioon. Kallion pinnan korkeusasema on kaivon porauksesta esitetyn laskun mukaan noin  $N_{60} + 163$ , sillä maan pinta täällä kohdalla on noin  $N_{60} + 178,5$  ja kuivaa maata on porattu kallion päältä 15,5 metriä. Kallion pinnan pitäisi siten olla selvästi pohjavesipinnan alapuolella. Harjun ydinosasta mitatut pohjaveden pinnankorkeudet tukevat pohjavesitason yläpuolisen kallion olemassaoloa Kesäteatterin ympäristössä. Putkien 200 ja 5 välillä pohjaveden pinnankorkeuksissa on 600 metrin matkalla noin neljän metrin putous.



Harjua alueen ulkopuolella ei ole kalliopaljastumia eikä muitakaan selviä merkkejä kalliopintojen jatkumisesta pohjois-eteläsuunnassa, vaikka harjua alueen ympärillä maanpinta laskee tason  $N_{60} + 170$  alapuolelle. Kaatopaikan kaakkoispuolella tutkassa näkyvä ruhje on samalla linjalla eteläpuolisten harjanteiden notkon sekä kauempana pohjoisessa olevan kapean salmen kanssa.

### 7.1.3 Karkearakeiset maakerrokset

Karkearakeiset maalajit sora ja hiekka ovat vedenjohtavuuden kannalta tärkeimpiä maalajeja. Harjun karkean ydinkerroksen sijainnin Multikankaalla pystyy päättämään helposti soramonttujen sijainnista. Tehtyjen kairausten ja maatutkaluotausten perusteella karkearakeinen aines sijaitsee kapeana vyöhykkeenä harjun entisen pääselänteen ydinosassa. Karkean aineksen vyöhyke ei pohjavesipinnan alapuolellakaan jatku juuri nykyisten soranottoalueiden ulkopuolelle. Paikoin, esimerkiksi putken 200 itäpuolella, aines on hyvin karkeaa. Ydinosassa on lähes kuutiometrin kokoisia lohkareita.

Harjun itäosassa lähellä vedenottamoa karkea ydinosaa on kapea ja se sijaitsee paksujen hienohiekkakerrosten alapuolella. Karkeaa kerrosta ei ole tavattu kairauksissa eikä maatutkaluotauksissa. Havaintoputken 20 pinta laski kuitenkin välittömästi koepumppauksen alkamisen jälkeen. Havaintoputkien 20 ja 201 välillä pinnankorkeuksien ero on lähes 90 cm. Putki 20 on ilmeisesti harjun ydinosassa ja putki 201 reuna-alueen moreenissa (Viitanen Pentti 1994). Karkearakeinen kerros jatkuu täältä noin sata metriä leveänä vyöhykkeenä putken 217 kohdalle. Harjun itäosan karkea aines sijaitsee siten harjun pääharjanteen pohjoisreunassa.

Multikankaan ja Hetesun vedenottamon välillä karkearakeinen harjun ydinaines jatkuu suon alla kapeana vyöhykkeenä. Vedenottamon kohdalla tämä karkearakeinen vyöhyke nousee jälleen maanpinnan yläpuolelle ja jatkuu Hetesun itäpuolella taas suon alaisena harjuna. Hetesun vedenottamon paikka on alunperin ollut pieni soraharjanne, jonka maa-aines on kuljetettu pois viimeistään 1950- ja 1960-luvuilla. Soiden alla karkean ydinosan ja suoturpeen välissä on tiivis muutaman kymmenen senttimetrin vahvuinen silttimaakerros.

Hetesun vedenottamon kaivojen rakentamisen yhteydessä otetuista maanäytteistä on laadittu rakeisuuskäyrät. Niiden perusteella karkearakeinen aines on hiekkaa ja soraista hiekkaa. Tehokas



raekoko  $d_{10}$  vaihtelee 0,32 - 0,72 mm ja tasaisuusluku  $d_{60}:d_{10}$  2,4 - 3,9 (Maa ja Vesi Oy 1988). Kairausten (Kainuun vesipiirin vesitoimisto 1981) ja kesällä 1994 Komulaisen kaivon rakentamisen yhteydessä kaivetun maa-aineksen perusteella aines sisältää runsaasti myös kiviä, joiden läpimitta on noin 2 - 20 senttimetriä. Kiviä ei ilmeisesti ole otettu huomioon rakeisuuskäyriä laadittaessa, koska käyrien perusteella suurin raekoko on 8 mm. Tämän takia todellinen tehokas raekoko on suurempi ja tasaisuusluku pienempi kuin pienestä laboratorionäyte-erästä saatu tulos.

#### 7.1.4 Tiiviit maakerrokset

Karkearakeista harjun ydinainesta ympäröivät hienorakeiset moreenimaalajit. Nämä maalajit muodostavat paikalliset harjun pituussuuntaiset vedenjakajat karkearakeisen harjun ydinaineksen sekä harjua ympäröivän suoalueen väliin. Pohjaveden virtauskuva Multikankaalla on siten antikliininen kaatopaikan ja sen länsipuolisen suoalueen ympäristöä lukuunottamatta.

Kaatopaikan kohdalla ja sen länsipuolella harjun ydinosan pohjoispuolella on orsivesialue, jolta kaatopaikan kohdalla tapahtuu pohjavesivirtausta etelään harjun ydinosaa kohti. Alunperin näiden orsivesilampien vesi on vanhojen karttojen ja vuoden 1980 pinnankorkeusmittausten perusteella virrannut ainakin pääosin harjun pohjoispuolella lampijonoa pitkin suoraan länteen tulematta harjualueelle. Vanhojen mittausten perusteella kaatopaikan kohdalla sijainneen lammen pinnankorkeus oli  $N_{60} + 178,04$  ja Ison Kuikkalammen pinta  $N_{60} + 177,83$ . Kaatopaikan täytön ja tiivistyksen yhteydessä tämä hydraulinen yhteys on kuitenkin katkennut.

### 7.2 Pohjaveden pinnankorkeudet

#### 7.2.1 Havaintoaineisto

Pohjaveden pinnankorkeudet on todettu alueelle asennetuista havaintoputkista sekä siellä olevista kaivoista. Ainoastaan putkia 1 - 4, 6 ja 7 on huuhdeltu säännöllisesti, joten muiden putkien antamiin pinnankorkeuslukemiin tulee suhtautua hieman varauksellisesti. Kesäteatterin pohjaveden pinta on mitattu kallioporakaivosta ja sen yhteydestä harjuakviferiin ei ole varmuutta.



Multikankaan alueelle on asennettu havaintoputkia vuodesta 1980 lähtien. Putkien numeroinnissa on ollut hieman päällekkäisyyksiä. Esimerkiksi putkea numero 12 on ollut kaksi kappaletta. Kesän 1994 aikana on vanhaa numerointia jonkin verran muutettu sen selkeyttämiseksi. Tästä johtuen sekaantumisen vaaraa vanhojen ja uusien putkien numeroiden välillä ei pitäisi olla. Havaintoputkien sijainnit on esitetty liitteessä 1 ja muut tiedot liitteessä 2.

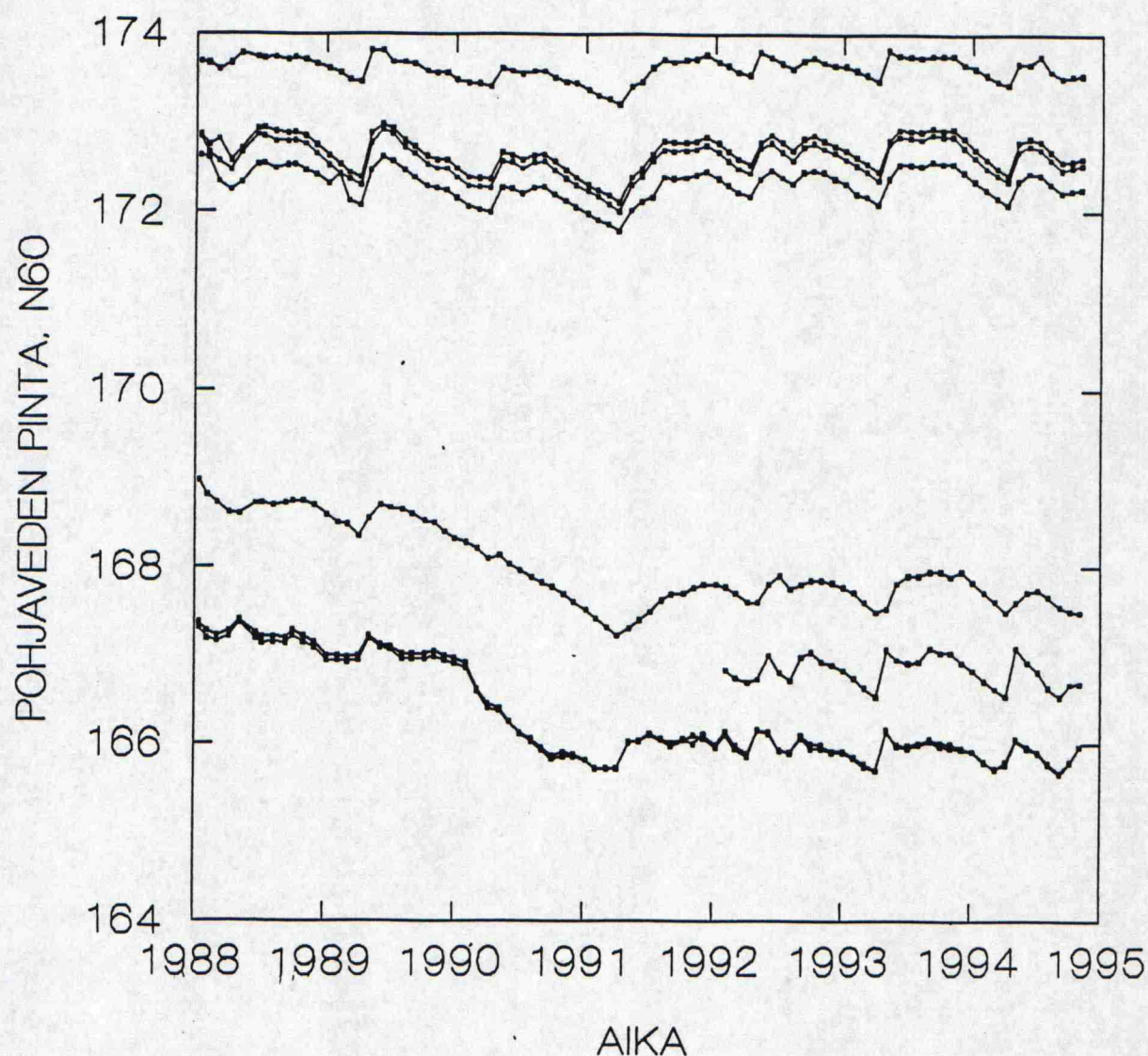
Putket 1, 2, 3, 4, 6 ja 7 ovat käyttökelpoisimpia sekä veden laadun mittausten että pinnankorkeuksien seurannan kanalta. Nämä muoviputket ovat riittävän suuria helppoon näytteenottoon ja niiden siiviläosuudet ovat asianmukaiset. Niitä on huuhdeltu säännöllisesti näytteenoton yhteydessä. Putket 102-108 ovat alunperin olleet hyviä havaintoputkia, mutta ainakin putki 105 on tukkeutunut, koska sitä ei ole huollettu. Lokakuussa 1994 putki 107 toimi sen sijaan moitteettomasti. Uudet putket 200-217 on asennettu auger-kairan reikiin lähinnä maatutkausten kalibrointia varten. Niitä ei ole huuhdeltu asennuksen yhteydessä eikä niissä ole asianmukaista siiviläosuutta. Useista yrityksistä huolimatta ainoastaan putkesta 207 saatiin edes lähes edustava näyte. Putket 200-217 sekä metalliputket 8-32 soveltuvat lähinnä pinnankorkeuksien mittaukseen. Pohjavesiputket on vaaittu Kuhmon kaupungin sekä osittain putkia asentaneiden konsulttien toimesta. Osalle putkista tehtiin tarkistusvaaitus kesällä 1994 ja putkien 12-19 koreusasemat poikkesivatkin aikaisemmin Maa ja Vesi Oy:n ilmoittamasta korkeudesta noin 20 cm.

Kuhmon kaupunki on suorittanut pohjaveden pinnankorkeuksien seuranta putkista 1-7 joulukuusta 1987 lähtien. Pohjaveden pinnankorkeudet on mitattu kerran kuukaudessa. Taulukossa 3 on merkitty tilastotietoja pinnankorkeuksien seurannasta ja kuvassa 6 on esitetty pinnankorkeudet ajan funktiona. Putken 20 seuranta on alkanut vasta pumppauksen alkamisen jälkeen helmikuussa 1992.

Taulukko 3. Putkien 1-7 ja 20 pohjavesipintojen mediaanit, vaihteluvälit sekä keskihajonnat.

putki nro	n kpl	med N60	min N60	max N60	keskihajonta
1	84	173,64	173,21	173,89	0,133
2	84	172,71	172,10	173,06	0,202
3	84	172,60	172,00	172,96	0,205
4	84	172,34	171,78	172,72	0,193
5	84	167,85	167,22	168,98	0,458
20	34	166,83	166,53	167,08	0,167
6	84	166,05	165,68	167,43	0,573
7	84	166,04	165,66	167,37	0,554





Kuva 6. Pohjavesipinnat seurantajakson aikana havaintoputkissa. Käyrät ylhäältä lukien: Havaintoputket 1, 2, 3, 4, 5, 20, 6 ja 7.

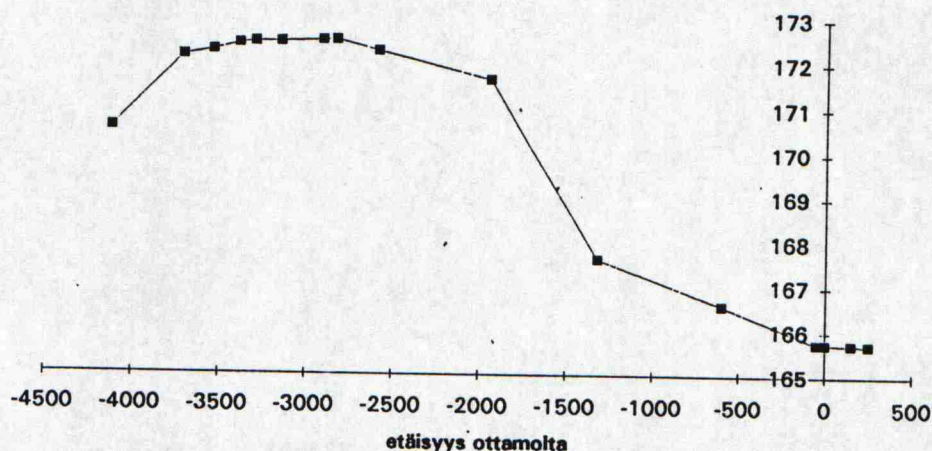
### 7.2.2 Aineiston käsittely

Pohjaveden harjun pituussuuntaiset gradientit pääharjanteen ydinosassa ovat pieniä putkien 200 ja 5 väliä lukuunottamatta. Pohjaveden pinnankorkeudet ja niiden perusteella lasketut gradientit on esitetty taulukossa 4 ja kuvassa 7. Havaintoputkien 200 ja 5 välisen alueen pohjavesiolosuhteita ei ole voitu merkittävästi tutkia, sillä harjun ydinosassa pohjavesi on yli 40 metrin syvyydessä luonnontilaisen harjuselänteen alla.



Taulukko 4. Pohjaveden pinnankorkeudet sekä gradientit harjun ydinosassa.

putki nro	pv-pinta 16.8.94 N60	matka vo:lle m	gradientti edell. 1/1000
216	170,57	-4120	
101	172,17	-3710	-3,90
11	172,29	-3540	-0,71
19	172,43	-3390	-0,93
12	172,48	-3300	-0,56
18	172,48	-3150	0,00
107	172,51	-2910	-0,13
108	172,52	-2830	-0,13
4	172,28	-2590	1,00
200	171,64	-1940	0,98
5	167,62	-1320	6,48
20	166,58	-600	1,44
6	165,74	-50	1,53
vedenottamo	165,74	0	0,00
7	165,73	150	0,07
Komulainen	165,72	250	0,10



Kuva 7. Pohjavesipinta harjun ydinosassa. Havaintopisteet 216, 101, 11, 19, 12, 18, 107, 108, 4, 200, 5, 20, 6, vedenottamo, 6 ja Komulaisen kaivo.

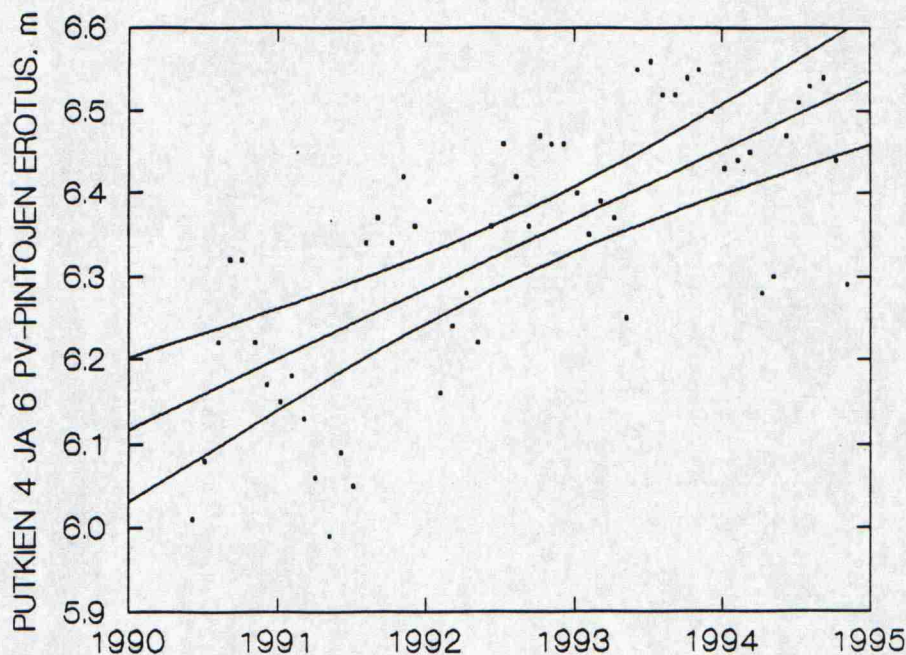






Pinnankorkeuksien seurannasta saatava mittaustieto on harhaanjohtavaa kaatopaikan ympäristön virtaussuuntien selvittämiseksi, koska putket 1, 2 ja 3 eivät ole harjun ydinosassa, vaan orsivesialueen vaikutuspiirissä. Putket 19, 12 ja 18 ovat kaatopaikan kohdalla lähempänä harjun ydinosaa, jossa pitkittäissuuntainen päävirtaus tapahtuu. Pohjavesipinta on putkissa 12 ja 18 lähes samalla tasolla ja putkessa 19 näistä noin viisi senttimetriä alempana. Havaintoputken 11 taso on noin kymmenen senttimetriä putkea 19 matalammalla. Näistä kaatopaikan eteläpuolisen harjun pituussuuntaisen virtaaman kannalta oleellisimmista putkista on vain vähän pinnankorkeuden mittaustuloksia kesiltä -89, -92 ja -94 sekä syksyltä -94, mutta pinnankorkeudet suhteessa toisiinsa ovat kaikissa näissä mittauksissa hyvin samankaltaisia. Putkien korkeusasemissa olleet virheet eivät vaikuta näihin suhteisiin, koska virhe on sisältynyt kaikkiin ko. putkiin. Pohjavesipinnan korkeuksia kaatopaikan ympäristössä on hahmoteltu kuvassa 8.

Pohjaveden pinta Hetesuolla on hieman laskeutunut koko ajan sekä ennen pohjaveden pumppausta että pintojen tasaantumisen jälkeen. Luonnollisesti pumppauksen alkuvaiheessa alenema oli hyppäyksenomainen, mutta pinnan laskeutuminen on jatkunut sen jälkeenkin. Tätä hidasta muutosta on vaikea nähdä suoraan putkien pinnankorkeuksista suuren vuodenaikaisvaihtelun takia. Kun pintoja verrataan Multikankaalla olevan putken 4 pinnan tasoon, jolloin vuodenaikaisvaihtelu pääosin eliminoiduu, Hetesuon pinnankorkeuden alentuminen on selvästi havaittavissa. Tämä muutos on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Pohjavesiputkien 4 ja 6 välinen pohjaveden pinnankorkeuksien ero ajan funktiona 95 % luotettavuusrajoineen.



Havaintoihin voidaan sovittaa pienimmän neliösumman keinolla suora, joka kuvaa pinnankorkeuksien kasvua ajan funktiona. Regressioanalyysin antamat tulokset ovat taulukossa 5. Lineaarinen malli ajan funktiona selittää noin puolet pinnankorkeuksien välisen eron vaihtelusta. Mallin mukainen pinnankorkeuksien ero on kasvanut keskimäärin 8 senttimetriä vuodessa aikavälillä kesäkuu 1990 - marraskuu 1994, eli pinnankorkeuksien tasaannuttua oton alkamisen jälkeen. Aineistoon sovitettu lineaarinen malli pinnankorkeuksien 4 ja 6 erotus ajan funktiona noudattaa yhtälöä:

Ero = 0,08420 \* t - 161,445

R<sup>2</sup> = 0,506 (1)

missä      Ero = putkien 4 ja 6 välinen pinnankorkeuksien ero [m]  
t = aika vuosina, 1990,4 < t < 1994,8.

Taulukko 5. Regressioanalyysin antama tulos lineaariselle muutokselle pinnankorkeuksien 4 ja 6 välille ajan funktiona.

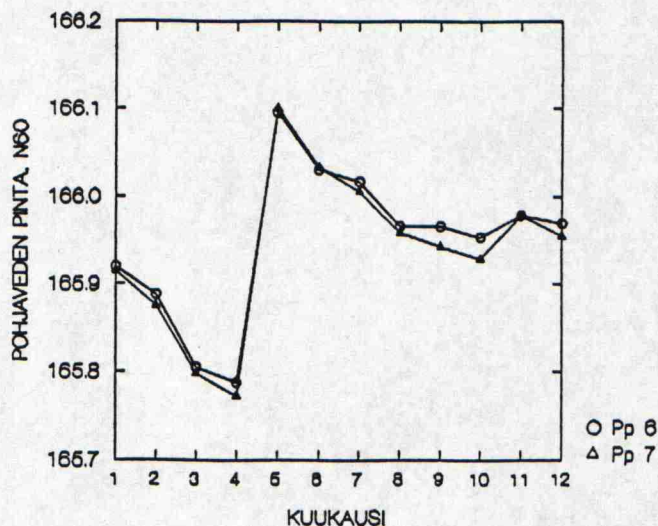
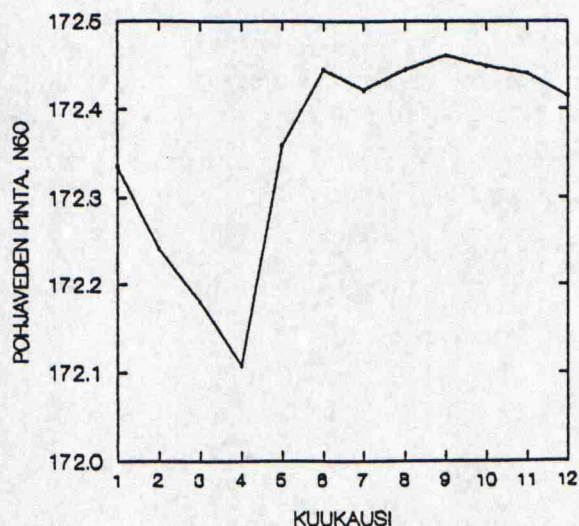
DEP VAR:	ERO46	N:	54	MULTIPLE R:	0.711	SQUARED MULTIPLE R:	0.506
ADJUSTED SQUARED		MULTIPLE R:	.496	STANDARD ERROR OF ESTIMATE:			0.11020
VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)	
CONSTANT	-161.44500	22.99330	0.00000	.	-7.02139	0.00000	
AIKA	0.08420	0.01154	0.71128	1.00000	7.29706	0.00000	

ANALYSIS OF VARIANCE					
SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	0.64661	1	0.64661	53.24712	0.00000
RESIDUAL	0.63147	52	0.01214		

Kun verrataan toisiinsa kuvassa 10 esitettyä Multikankaalla ja Hetesuolla tapahtuvaa pohjavesipintojen vuodenaikaisvaihtelua pumppauksen aiheuttaman pinnankorkeuksien pudotuksen jälkeen, nähdään Hetesuolla olevissa putkissa pohjavesipinnan kohoaminen marraskuussa, jota Multikankaalla ei ole havaittavissa. Alkukesällä pohjavesipinnat nousevat Hetesuolla Multikangasta aikaisemmin huippulukemaan, mutta huipun kesto on huomattavasti Multikankaan alueen vastaavaa kestoä lyhyempi.





Kuvat 10a ja 10b. Pohjaveden kuukausivaihtelu pohjavesiputkissa 4 (10a), 6 ja 7 (10b) aikavälillä kesäkuu 1990 - marraskuu 1994.

### 7.3 Pohjaveden laatu

#### 7.3.1 Havaintoaineisto

Pohjaveden laatua on seurattu putkista 1, 2, 3; 4, 6 ja 7 joulukuusta 1987 lähtien Maa ja Vesi Oy:n laatiman tarkkailuohjelman mukaisesti (Maa ja Vesi Oy 1986). Näytteitä on otettu vuosina 1987 ja 1989 yhden kerran, 1988 neljä kertaa sekä vuosina 1990 - 1994 kaksi kertaa. Tarkkailuohjelma toimii samalla sekä kaatopaikan suotovesien seurantaohjelmanä että vedenottamon velvoitetarkkailuna Pohjois-Suomen vesioikeuden päätöksen mukaisesti. Seurantaohjelmaa voidaan tarvittaessa muuttaa kaupungin ja Kainuun vesi- ja ympäristöpiirin välisellä sopimuksella (Pohjois-Suomen vesioikeus 1987). Pohjavesinäytteet on otettu Kuhmon kaupungin toimesta ja tutkittu PSV Oy:n vesilaboratoriossa Oulussa. Analyysit on suoritettu nitraatin osalta Elintarviketutkijain seura ry:n menetelmän ja muiden komponenttien suhteen SFS-standardien mukaisesti.

Tarkkailuohjelman ulkopuolella on otettu muutamia vesinäytteitä alueen muista havaintoputkista sekä alueen talousvesikaivoista. Erityislika-ainemääryityksiä on suoritettu putkista 1, 2, 101 ja 107.

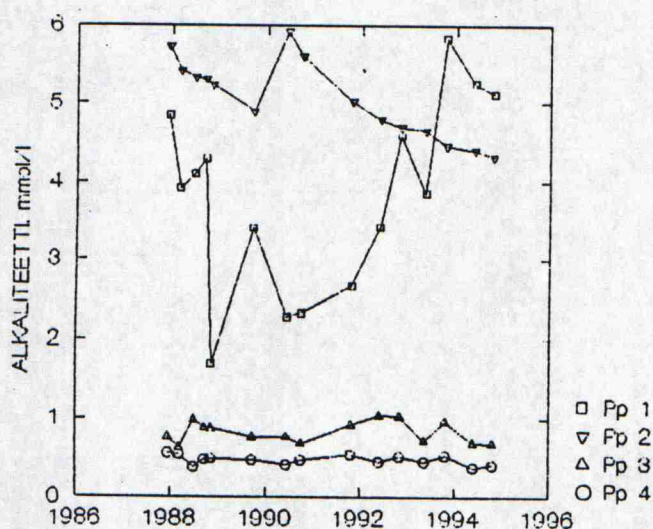


Hetesuon vedenottamolta on tutkittu pohjaveden laatua neljä kertaa vuodessa PSV:n vesilaboratoriossa Oulussa. Muutama näyte on vuosittain tutkittu Sotkamon kunnan Elintarvike- ja vesilaboratoriossa. Lisäksi Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri on ottanut satunnaisesti muutaman vesinäytteen vedenottamolta sekä tutkinut vedestä erityislika-aineita.

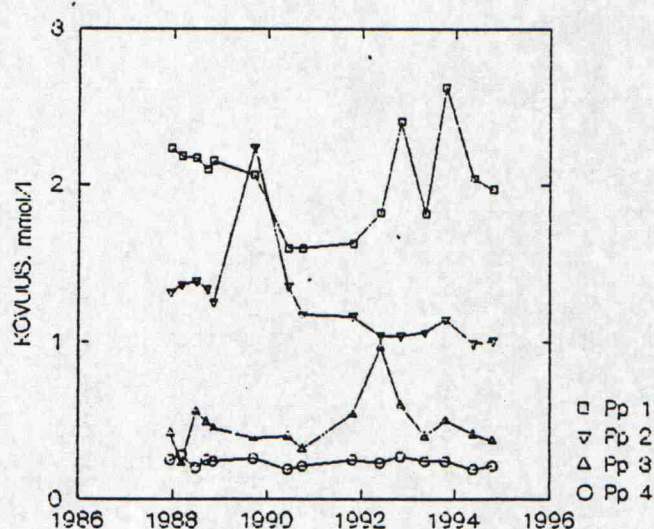
Seuraavassa on käsitelty erikseen veden laadun muutoksia kaatopaikan ja vedenottamon ympäristöissä. Raskasmetallien ja orgaanisten kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksia ei ole mitattu säännöllisesti. Niiden pitoisuuksia käsitellään omissa kappaleissaan.

### 7.3.1.1 Kaatopaikan ympäristön havaintoputket

Kaatopaikan ympäristön putket 1-4 ovat kuuluneet veden laadun tarkkailuohjelmaan. Veden laadun keskeiset parametrit ajan funktiona näissä putkissa on esitetty kuvissa 11 - 19. Muiden parametrien vaihtelu on esitetty taulukossa 6. Havaintoputkista määritetyt vuosittaiset veden laadun mediaanipitoisuudet on esitetty liitteessä 3.

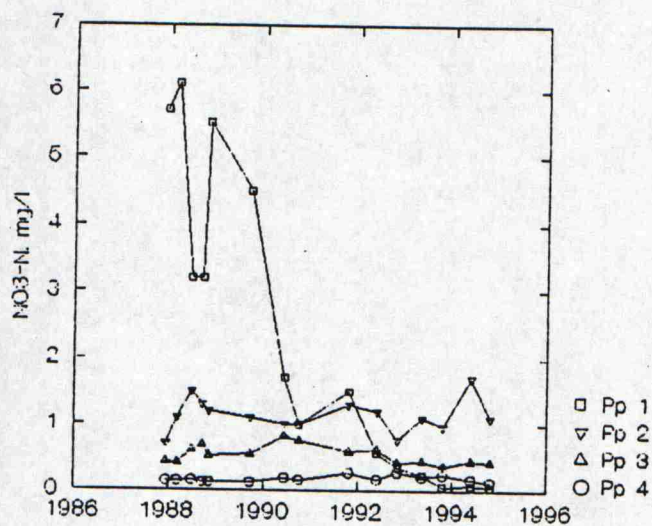


Kuva 11. Alkaliteetti

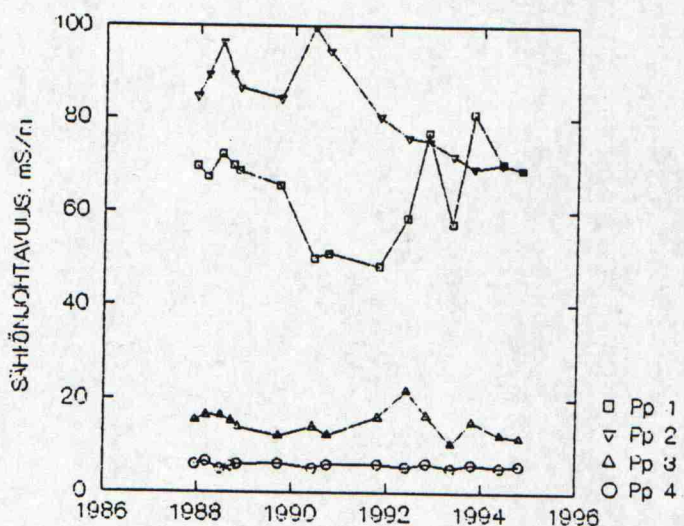


Kuva 12. Kovuus

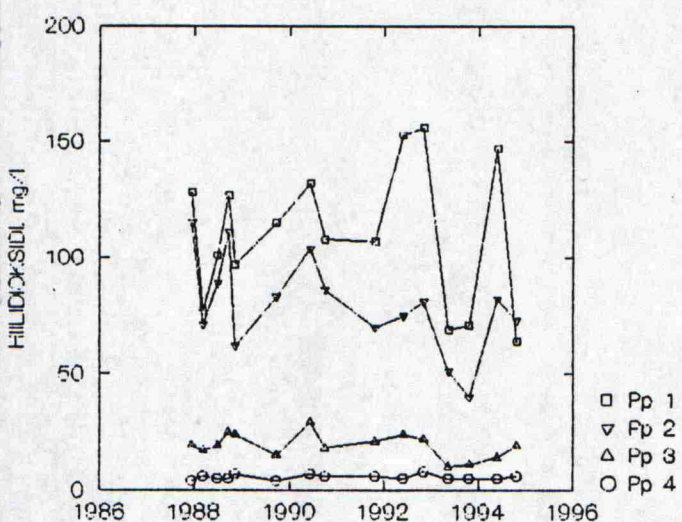




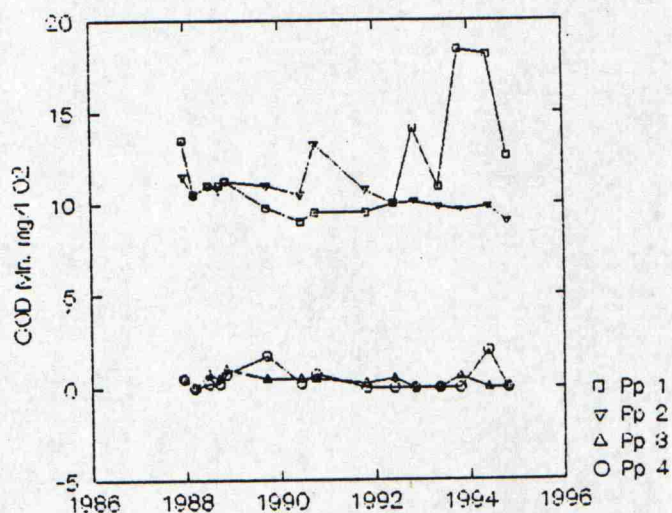
Kuva 13. Nitraatti-typpi



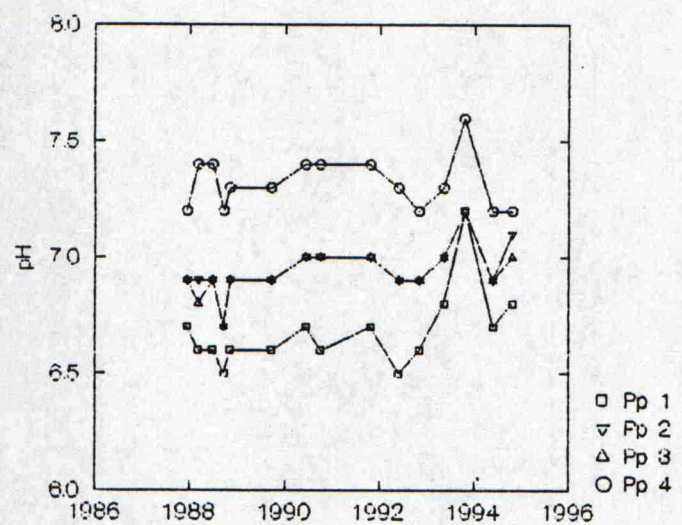
Kuva 14. Sähkönjohtavuus



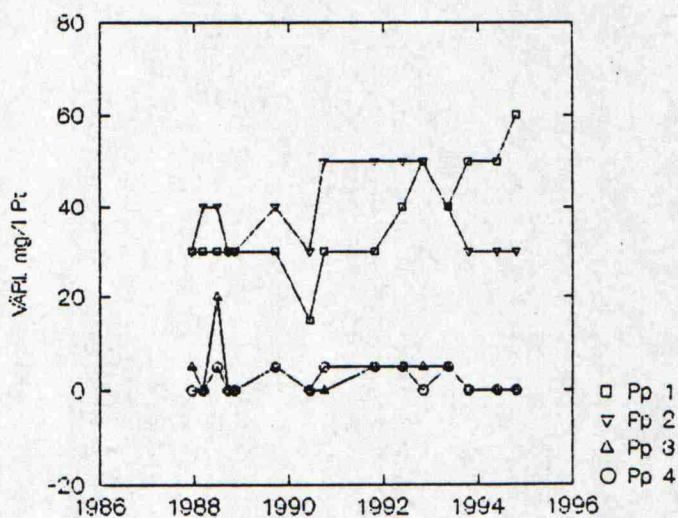
Kuva 15. Hiilidioksidi



Kuva 16. Kemiallinen hapenkulutus

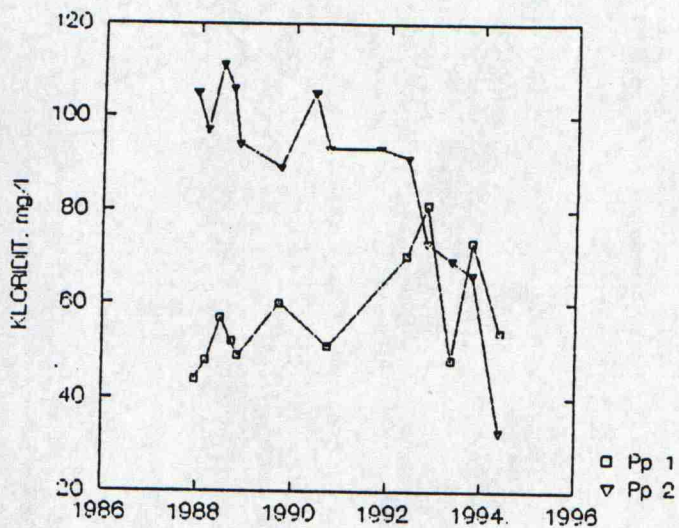


Kuva 17. Happamuus



Kuva 18. Väri





Kuva 19. Kloridit

Taulukko 6. Veden raudan, mangaanin, sekä ammonium- ja nitraattitypen mediaani-, minimi- ja maksimipitoisuudet havaintoputkissa 1-4.

parametri	putki	n	med	min	max
Rauta [mg/l]	Pp 1	15	0,11	0,04	0,68
	Pp 2	15	0,22	0,13	0,35
	Pp 3	15	0,03	< 0,005	0,17
	Pp 4	15	0,01	< 0,005	0,08
Mangaani [mg/l]	Pp 1	15	0,86	0,46	1,6
	Pp 2	15	0,71	0,62	0,93
	Pp 3	15	0,005	< 0,005	3
	Pp 4	15	< 0,005	< 0,005	0,21
NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	Pp 1	15	2,4	0,21	20,8
	Pp 2	15	14	0,32	18,5
	Pp 3	15	0,01	< 0,01	0,19
	Pp 4	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01
NO <sub>2</sub> -N [mg/l]	Pp 1	15	0,009	< 0,003	0,033
	Pp 2	15	0,003	< 0,003	0,02
	Pp 3	15	< 0,003	< 0,003	< 0,003
	Pp 4	15	< 0,003	< 0,003	< 0,003

Veden laadun seurantaohjelmaan kuulumattomien putkien 101 ja 107 ja Haulikkoradan kaivon veden analyysitulokset on esitetty taulukossa 7.

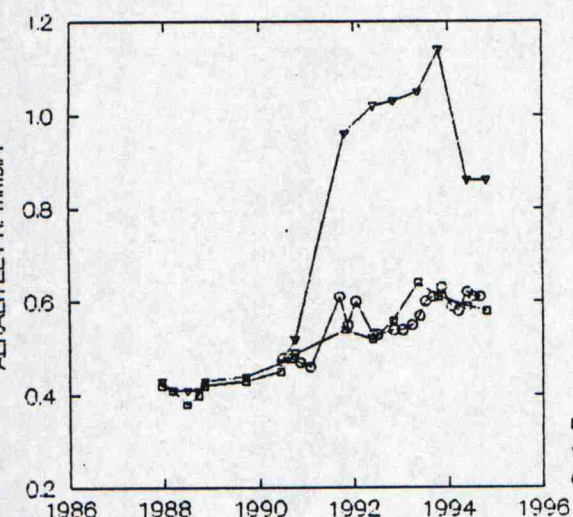


Taulukko 7. Veden laatuarvoja tarkkailuohjelmaan kuulumattomissa putkissa.

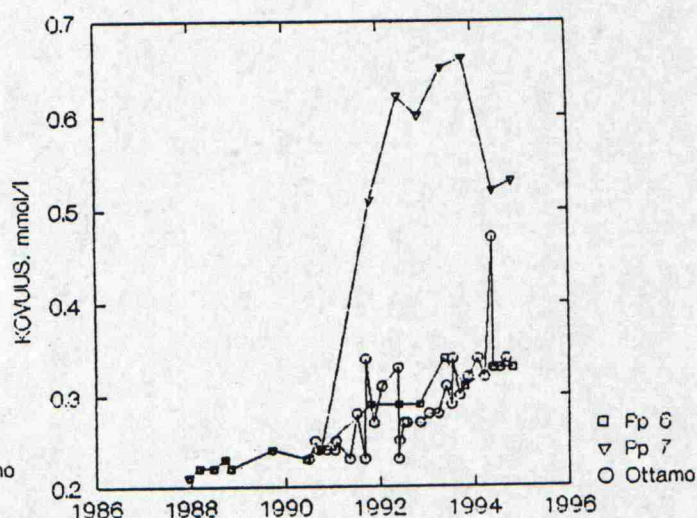
päiväys		Pp 101 7,6,94	Pp 102 7,6,94	Pp 103 7,6,94	Pp 107 19,10,94	Pp 207 9,11,94	Ha.rata 19,10,94
alkaliteetti	mmol/l	1,14	0,91	0,87	0,96	0,25	1,42
kovuus	mmol/l	0,76	0,47	0,47	0,54	0,13	0,74
johtokyky	mS/m	42,3	16,3	13,6	12,3	3,6	16,3
pH		6,7	6,8	7,0	7,6	5,9	7,8
COD_Mn	mg/l O2	2,7	< 0,5	< 0,5	0,6	0,4	< 0,5
CO2	mg/l	9	6	4	11		0,11
rauta	mg/l				0,38	3,4	
mangaani	mg/l				< 0,005	0,12	0,007
NH4-N	mg/l	0,99	0,05	< 0,01	< 0,01	0,018	< 0,01
NO2-N	mg/l				< 0,003		0,003
NO3-N	mg/l	0,02	2,2	0,9	0,76	0,18	1,5
kloridit	mg/l	70	9,1	5,5	0,6	1,5	1
väri	mg/l Pt	40	10	10	< 5	40	< 5

### 7.3.1.2 Hetesuo vedenottamo ja havaintoputket

Veden keskeiset laatuparametrit ajan funktiona Hetesuo vedenottamolla sekä havaintoputkissa 6 ja 7 on esitetty kuvissa 20 - 26. Muiden laatuparametrien pitoisuusvaihtelu on esitetty taulukossa 8. Vedenottamon säännöllinen näytteenotto on aloitettu kesäkuussa 1990 pumppauksen alkamisen jälkeen.

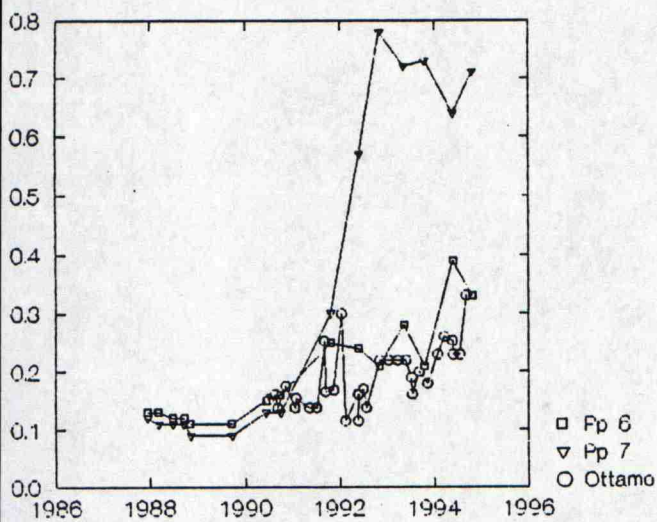


Kuva 20. Alkaliteetti

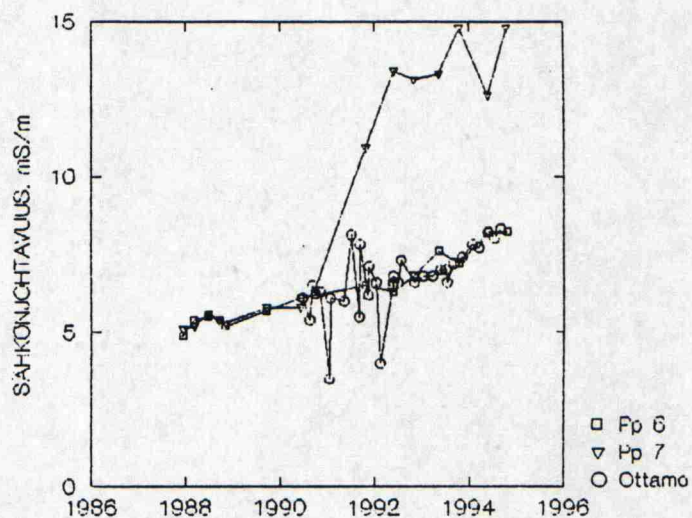


Kuva 21. Kovuus

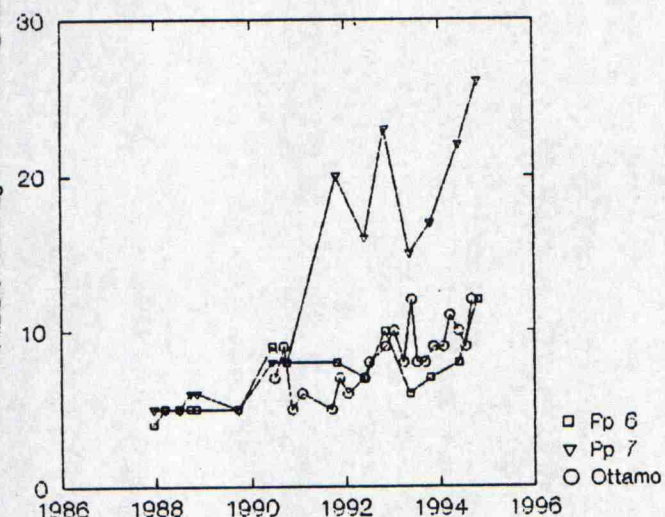




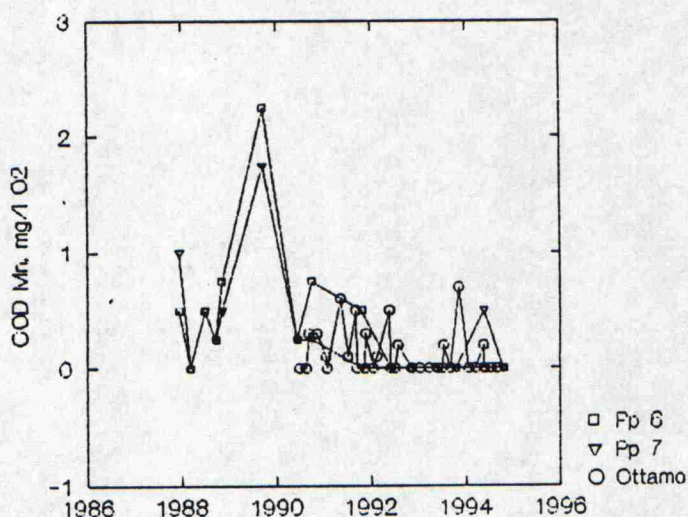
Kuva 22. Nitraatti-typpi



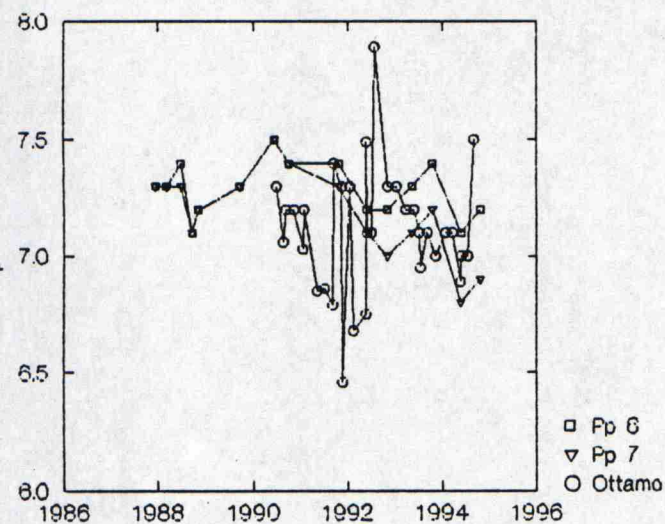
Kuva 23. Sähkönjohtavuus



Kuva 24. Hiilidioksidi



Kuva 25. Kemiallinen hapenkulutus



Kuva 26. Happamuus



Taulukko 8. Vedenottamolta ja havaintoputkista 6 ja 7 mitattuja veden laadun mediaani-, minimi- ja maksimiarvoja.

parametri	putki	N	med	min	max
Rauta [mg/l]	Pp 6	15	0,008	< 0,005	0,06
	Pp 7	15	< 0,005	< 0,005	0,04
	Ottamo	33	< 0,005	< 0,005	0,02
Mangaani [mg/l]	Pp 6	15	< 0,005	< 0,005	0,02
	Pp 7	15	< 0,005	< 0,005	0,02
	Ottamo	33	< 0,005	< 0,005	0,03
NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	Pp 6	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Pp 7	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Ottamo	32	< 0,01	< 0,01	0,03
NO <sub>2</sub> -N [mg/l]	Pp 6	15	< 0,003	< 0,003	< 0,003
	Pp 7	15	< 0,003	< 0,003	< 0,003
	Ottamo	32	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Kloridit [mg/l]	Pp 6	1	2	2	2
	Pp 7	1	5	5	5
	Ottamo	21	1,5		8,6
Väri [mg/l Pt]	Pp 6	15	5	< 5	5
	Pp 7	15	< 5	< 5	5
	Ottamo	33	< 5	< 5	15

### 7.3.2 Aineiston käsittely

#### 7.3.2.1 Parametrien muutokset ajan suhteen

Parametrien muutosta ajan suhteen on tutkittu korrelaatiokertoimen avulla. Korrelaatiokertoimet havaintoputkittain on esitetty taulukossa 24. Mitä suurempi korrelaatiokertoimen itseisarvo on, sen paremmin parametri korreloi lineaarisesti ajan kanssa. Mikäli korrelaatiokerroin on positiivinen, parametri on kasvanut ajan funktiona ja mikäli kerroin on negatiivinen parametrin arvo on pienentynyt. Korrelaatiokertoimet on saatu Pearsonin korrelaatiomatriisista. Vaikka muutokset eivät olisikaan lineaarisia, korrelaatiokertoimen itseisarvo nousee kuitenkin korkeaksi, mikäli muutoksen suunta on selvä.



Taulukko 9. Veden laatuparametrien lineaarinen korrelointi ajan suhteen näytteenottopaikoittain.

Parametri	Pp1	Pp2	Pp3	Pp4	Pp6	Pp7	Ottamo
alkaliteetti	0,409	-0,820	0,036	-0,289	0,946	0,876	0,801
kovuus	-0,048	-0,548	0,198	-0,296	0,961	0,887	0,722
johtokyky	0,032	-0,809	-0,216	-0,187	0,963	0,945	0,617
pH	0,515	0,587	0,573	-0,024	-0,181	-0,647	0,028
COD_Mn	0,492	-0,636	-0,540	-0,036	-0,422	-0,440	-0,159
hiilidioksidi	-0,079	-0,533	-0,371	0,135	0,745	0,919	0,703
rauta	0,384	0,458	-0,578	-0,333	0,016	-0,201	0,111
mangaani	-0,400	0,459	-0,268	0,241	-0,337	-0,355	-0,177
NH4-N	-0,468	-0,117	0,467	-	-	-	-0,241
NO2-N	-0,818	0,646	-	-	-	-	-
NO3-N	-0,899	0,110	-0,321	0,511	0,894	0,914	0,610
kloridit	0,542	-0,839	-	-	-	-	0,022
väri	0,790	0,075	-0,255	-0,004	-0,085	-0,172	-0,088

Osaan havaintoaineistosta, jossa muutosta ajan suhteen näyttää korrelaatiokertoimen perusteella esiintyvän, on sovitettu suora pienimmän neliösumman keinolla. Yhtälöiden kertoimien ja vakiotermien p-arvot on saatu t-testillä ja mallien p-arvo F-testillä. Yhtälöt pätevät havaintoputkissa havaintojakson aikavälillä  $1988 < t < 1994,8$  ja vedenottamolla aikavälillä  $1990,5 < t < 1994,8$ . Yhtälöiden kertoimien perusteella saadaan havainnollistettua kyseisen parametrin muutoksen suuntaa ja suuruutta havaintojakson aikana. Muutoksen linearisointi on voimakas yleistys ja etenkin mallien ekstrapoloinnissa käytetyn aikavälin ulkopuolelle tulee olla varovainen. Muodostetut yhtälöt selitysasteineen on esitetty seuraavassa:

$$\text{Pp 2:} \quad \text{alkaliteetti} = -0,17078 * t + 345,08 \quad R^2 = 0,672 \quad (2)$$

$$\text{Pp 6:} \quad \text{alkaliteetti} = 0,03397 * t - 67,15 \quad R^2 = 0,895 \quad (3)$$

$$\text{Pp 7:} \quad \text{alkaliteetti} = 0,10649 * t - 211,35 \quad R^2 = 0,767 \quad (4)$$

$$\text{Ottamo:} \quad \text{alkaliteetti} = 0,03215 * t - 63,51 \quad R^2 = 0,642 \quad (5)$$

$$\text{Pp 6:} \quad \text{kovuus} = 0,01873 * t - 37,02 \quad R^2 = 0,923 \quad (6)$$

$$\text{Pp 7:} \quad \text{kovuus} = 0,06995 * t - 138,89 \quad R^2 = 0,787 \quad (7)$$

$$\text{Ottamo:} \quad \text{kovuus} = 0,02851 * t - 56,52 \quad R^2 = 0,521 \quad (8)$$

$$\text{Pp 6:} \quad \text{johtokyky} = 0,4259 * t - 841,6 \quad R^2 = 0,928 \quad (9)$$

$$\text{Pp 7:} \quad \text{johtokyky} = 1,6034 * t - 3183,4 \quad R^2 = 0,894 \quad (10)$$

$$\text{Ottamo:} \quad \text{johtokyky} = 0,5348 * t - 1058,9 \quad R^2 = 0,381 \quad (11)$$



$$\text{Pp 2:} \quad \text{COD}_{\text{Mn}} = -0,2533 * t + 514,7 \quad R^2 = 0,799 \quad (12)$$

$$\text{Pp 6:} \quad \text{NO}_3\text{-N} = 0,03241 * t - 64,33 \quad R^2 = 0,799 \quad (13)$$

$$\text{Pp 7:} \quad \text{NO}_3\text{-N} = 0,11068 * t - 220,02 \quad R^2 = 0,835 \quad (14)$$

$$\text{Ottamo:} \quad \text{NO}_3\text{-N} = 0,02508 * t - 49,79 \quad R^2 = 0,378 \quad (15)$$

Yhtälössä:  $t$  = aika vuosina;  $1988 < t < 1994,8$  havaintoputkissa ja  
 $1990,5 < t < 1994,8$  vedenottamolla

alkaliteetin yksikkö [mmol/l]

kovuuden yksikkö [mmol/l]

johtokyky = sähkönjohtavuus, [mS/m]

$\text{COD}_{\text{Mn}}$  = kemiallinen hapenkulutus, [mg/l  $\text{O}_2$ ]

$\text{NO}_3\text{-N}$  = nitraatti-typpi, [mg/l]

Kaikkien kertoimien, vakiotermien ja mallien p-arvot ovat  $< 0,0005$ , joten tulokset ovat niiden puolesta luotettavat.

### 7.3.2.2 Laatuparametrien keskinäinen korrelointi

Laatuparametreista löytyi sekä putkessa eri parametrien välillä että parametrin eri putkien välillä tapahtuvaa korrelointia. Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty parametri- ja putkiparit, joiden välinen Pearsonin korrelaatiokertoimen itseisarvo on 0,8 tai suurempi. Alkaliteetti ja kovuus korreloivat keskenään erittäin hyvin Hetesuolla. Niiden välinen korrelointi havaintoputkissa 6 ja 7 on esitetty kuvassa 27. Parametrien välisiä korrelaatioita on käsitelty putkittain, sillä pienimmän neliösumman keinon laskentatavasta johtuen korrelaatiokertoimien arvot nousisivat lähes kaikkien parametrien välillä korkeiksi, mikäli kaikki määrittystulokset yhdistettäisiin. Tämä johtuu siitä, että putkien 1 ja 2 pitoisuudet ovat lähes kaikilla parametreilla kertaluokkaa muiden putkien pitoisuuksia korkeammat.

Vedenottamon raakaveden laadussa ei ole merkittävää vuodenaikarytmiä. Veden laatuparametrit eivät myöskään korreloi merkittävästi pohjavesipinnan korkeusaseman kanssa.



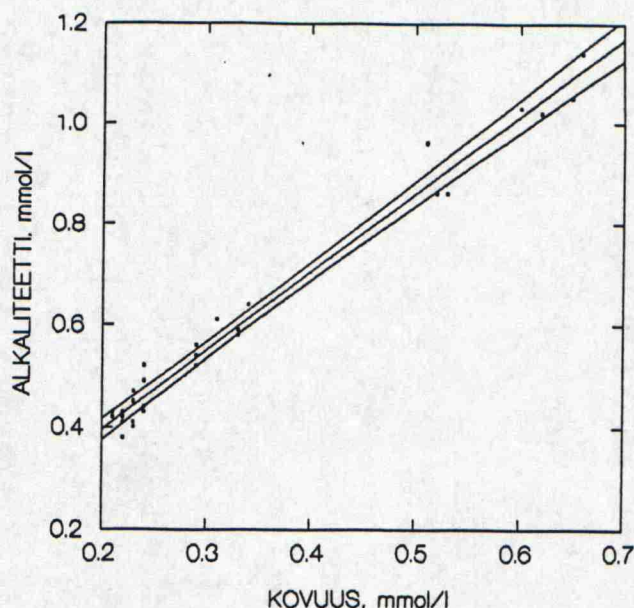
Taulukko 10. Merkittävimmät laatuparametrien väliset korrelaatiot havaintoputkittain.

putki	parametripari	korrelaatiokerroin
Pp 1	kovuus vs. alkaliteetti	0,960
Pp 2	alkaliteetti vs. kloridit	0,814
	alkaliteetti vs. sähköjohtavuus	0,914
	kloridit vs. sähköjohtavuus	0,804
Pp 3	alkaliteetti vs. kovuus	0,834
Pp 4	alkaliteetti vs. kovuus	0,828
Pp 6	alkaliteetti vs. kovuus	0,958
	alkaliteetti vs. nitraatti-typpi	0,843
	alkaliteetti vs. sähköjohtavuus	0,907
	kovuus vs. nitraatti-typpi	0,914
	kovuus vs. sähköjohtavuus	0,947
	nitraatti-typpi vs. sähköjohtavuus	0,927
Pp 7	alkaliteetti vs. hiilidioksidi	0,854
	alkaliteetti vs. kovuus	0,991
	alkaliteetti vs. nitraatti-typpi	0,922
	alkaliteetti vs. sähköjohtavuus	0,960
	hiilidioksidi vs. kovuus	0,856
	hiilidioksidi vs. nitraatti-typpi	0,882
	hiilidioksidi vs. sähköjohtavuus	0,917
	kovuus vs. nitraatti-typpi	0,949
	kovuus vs. sähköjohtavuus	0,975
	nitraatti-typpi vs. sähköjohtavuus	0,968
Vedenottamo	alkaliteetti vs. kovuus	0,903

Taulukko 11. Merkittävimmät havaintoputkien väliset korrelaatiot parametreittain.

parametri	putkipari	korrelaatiokerroin
alkaliteetti	Pp 6 vs. Pp 7	0,921
kemiallinen hapenkulutus	Pp 6 vs. Pp 7	0,859
kovuus	Pp 6 vs. Pp 7	0,922
mangaani	Pp 6 vs. Pp 7	0,944
pH	Pp 1 vs. Pp 2	0,837
	Pp 1 vs. Pp 3	0,831
	Pp 2 vs. Pp 3	0,951
	Pp 6 vs. Pp 7	0,821
sähköjohtavuus	Pp 2 vs. Pp 7	-0,887
	Pp 6 vs. Pp 7	0,868





Kuva 27. Kovuuden ja alkaliteetin riipuvuus Hetsuolla havaintoputkissa 6 ja 7. Pisteisiin on sijoitettu suora ja sen vaihteluväli 95 % todennäköisyydellä.

### 7.3.3 Raskasmetallit

Vedenottamon lyijypitoisuudet ovat olleet jatkuvasti alhaiset. Haulikkoradan kaivosta lokakuussa 1994 otetussa näytteessä lyijypitoisuus oli alle määritysrajan 0,005 mg/l. Myös putkien 101, 102 ja 103 lyijypitoisuudet olivat alle määritysrajan kesäkuussa 1994.

Alumiinia on mitattu vain ajoittain Hetsuon vedenottamolta. Alumiini on pysynyt koko ajan alhaisena ollen usein alle määritysrajan.

Kuparipitoisuudet on määritetty neljä kertaa Hetsuon vedenottamon vedestä. Kaikissa määrittelyissä kuparipitoisuus on ollut alle määritysrajan 0.01 mg/l. Kaatopaikan ympäristössä kuparipitoisuudet ovat myös olleet pieniä kesäkuussa 1994 tehdyissä mittauksissa. Maksimipitoisuus 0,011 mg/l oli putkessa 101.

Kaatopaikan ympäristössä olevien havaintoputkien 101, 102 ja 103 raskasmetallipitoisuuksia tutkittiin kesäkuussa 1994. Arseeni, kromi ja elohopeapitoisuudet olivat alle määritysrajojen. Nikkeliä oli yli määritysrajan, mutta senkin pitoisuudet olivat pieniä.



### 7.3.4 Orgaaniset kemialliset yhdisteet

Orgaanisten kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksia tutkittiin vuosina 1991 ja 1992 sekä kaatopaikan ympäristöstä että Hetesuo-vedenottamolta. Kloorifenolien ja PCB-yhdisteiden pitoisuudet eivät missään näytteessä ylittäneet luontaisesti esiintyviä pitoisuuksia. Haihtuvista aromaattisista hiilivedyistä eli VAH-yhdisteistä havaittiin kohonnut tolueeni-pitoisuus Hetesuo-vedenottamolla. Haihtuvista klooratuista hiilivedyistä eli VCH-yhdisteistä havaittiin kohonneita dikloorimetaanipitoisuuksia sekä vedenottamolta että kaatopaikan ympäristöstä. Myös kloroformia löytyi lähes kaikista näytteistä, mutta sen pitoisuus ei ylittänyt raja-arvoja. Pestisideistä löydettiin kaatopaikan ympäristöstä pentaklooribentseeniä luontaisesta kohonneita pitoisuuksia. Vedenottamolta pestisidejä ei havaittu lainkaan (Maa ja Vesi 1992). Näiden määritysten jälkeen on jatkettu tolueenin, dikloorimetaanin ja kloroformin seuranta satunnaisesti vedenottamolta, seurantaohjelmaan kuuluvista havaintoputkista ja Tiirinniemen talousvesikaivosta. Seurantaohjelmasta on tullut hajanainen, sillä määritysten tekeminen yksittäisten lika-aineiden kohdalta on kallista. Tulokset seurannasta on taulukossa 12.

Taulukko 12. Pohjaveden tolueeni, dikloorimetaani ja kloroformipitoisuudet Multikankaalla.

päiväys	paikka	tolueeni $\mu\text{g/l}$	kloroformi $\mu\text{g/l}$	dikloorimetaani $\mu\text{g/l}$
22.1.1991	Pp 1	< 0,1	6,7	< 0,1
9.4.1991	Pp 2	< 0,1	1,5	< 0,1
25.7.1991	vedenottamo	31,8	0,737	55,5
25.7.1991	Pp 101	-	0,48	13
25.7.1991	Pp 107	-	0,43	32,1
4.9.1991	vedenottamo	< 0,1	< 0,1	0,53
4.9.1991	Pp 101	< 0,1	0,13	2,92
4.9.1991	Pp 107	< 0,1	0,23	1,64
3.7.1992	vedenottamo	4,5	0,98	5,73
3.9.1992	vedenottamo	1,0	1,74	6,25
9.12.1992	vedenottamo	0,26	< 1,0	< 1,0
25.3.1993	vedenottamo	< 0,1	< 0,1	< 0,1
11.5.1993	Pp 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
11.5.1993	Liukkonen	< 0,1	< 0,1	< 0,1
15.11.1993	Liukkonen	< 0,1	< 0,1	< 0,1
26.1.1994	vedenottamo	< 0,1	< 0,1	< 0,1
23.5.1994	Pp 1	< 10	< 0,01	2,8
23.5.1994	Pp 2	< 10	< 0,01	1,8
23.5.1994	Pp 3	< 10	< 0,01	2,7
23.5.1994	Pp 4	< 10	< 0,01	1,1
23.5.1994	Pp 6	< 10	< 0,01	0,59
23.5.1994	Pp 7	< 10	< 0,01	16
18.10.1994	vedenottamo	< 10	< 0,01	0,61
18.10.1994	Pp 1	< 10	< 0,01	4,1
18.10.1994	Pp 2	< 10	< 0,01	0,78
18.10.1994	Pp 3	< 10	< 0,01	1,2
18.10.1994	Pp 4	< 10	< 0,01	0,58
18.10.1994	Pp 6	< 10	< 0,01	1,1
18.10.1994	Pp 7	< 10	< 0,01	1,4
18.10.1994	Tiirinniemi	< 10	< 0,01	0,41



## 7.4 Johtopäätökset aineiston käsittelystä

### 7.4.1 Hetesuon vedenottamon vaikutusalue

Hetesuon vedenottamolla tapahtuvan pumppauksen johdosta pohjavedenpinta on alentunut. Tämä näkyy selvästi taulukossa 3 olevista havaintoputkien 5, 6 ja 7 pinnankorkeuden mittaustuloksissa. Niiden maksimit ovat selvästi mediaaniarvoja suurempia ja keskihajonnat isoja. Putken 20 mittauksissa vaikutus ei näy, sillä sen mittaukset on aloitettu vasta pumppauksen alkamisen jälkeen. Havaintoputkien 5 ja 200 välillä pohjaveden pinnankorkeudessa on harjun ydinosassa suuri hyppäys tiiviiden maakerrosten tai kallion takia. Tämän "kynnyksen" yli pohjaveden otolla ei ole vaikutusta vaan sen yli valuu sama vesimäärä kuin ennen pumppausta.

Hetesuon pelloilla tapahtunut ojien kaivaminen on ulottunut pohjavesipinnan alapuolelle. Sarkaojien vaikutus näkyy selvästi kuvassa 10, jossa verrataan toisiinsa havaintoputken 4 pohjavesitason kuukausivaihtelua putkien 6 ja 7 vaihteluihin. Alkukesällä pohjavesipinnat nousevat Hetesuolla Multikangasta aikaisemmin huippulukemaansa, mutta huipun kesto on huomattavasti Multikankaan kestoja lyhyempi. Tämä johtuu pohjavesihuipun nopeasta kulkeutumisesta Hetesuolta pois avo-ojia pitkin niiden sulamisen jälkeen. Hetesuolla nähdään pohjavesitason kohoaminen marraskuussa, jota Multikankaalla ei havaita. Tämä johtuu syvien pelto-ojien jäätymisestä ja sen pohjavettä padottavasta vaikutuksesta.

Syvien sarkaojien takia esiintymän antoisuus ei ole täysin hyödynnettävissä vedenottoon vaan osa vedestä virtaa sarkaojia myöten ohi vedenottamon. Niinpä ennen sarkaojien kaivamista tehdyn koepumppauksen perusteella arvioitu esiintymän antoisuus on pienentynyt. Pohjaveden ottaminen ja syvät sarkaojat laskevat yhdessä jatkuvasti pohjavesitasoa Hetesuolla. Tämä näkyy selvästi tarkastellessa havaintoputkien 4 ja 6 pohjavesitasojen erotusta ajan funktiona kuvassa 9. Sen perusteella vedenoton pohjavesitasoon aiheuttama kartio on jatkuvasti syventynyt Hetesuolla.

Koska vettä tulee vain rajoitettu määrä yli Kesäteatterin seudun "kynnyksen" ja vedenotto on hieman yli esiintymän nykyisen antoisuuden, pohjavesi kulkeutuu Multikankaan itäpään moreenialueilta kohti vedenottamoa. Moreenialueilta tuleva vesi viipyy harjualueilta tulevaa vettä kauemmin maaperässä ja ehtii siten liuottaa siihen runsaammin aineita maaperästä. Tämä näkyy Hetesuolla havaintoputkissa ja vedenottamolla kohonneina alkaliteetin, kovuuden ja sähkönjohta-



vuoden pitoisuuksina. Osaksi myös nitraattitypen kasvu voi johtua tästä.

Erityisesti alkaliteetti ja kovuus, mutta hieman heikommin myös sähkönjohtavuus sekä nitraattityppi korreloivat toistensa kanssa Hetesuolla. Suuri osa niiden muutoksista johtuu siten bikarbonaattipitoisuuden kasvusta. Bikarbonaatti kuvastaa suoraan alkaliteettia ja se aiheuttaa myös bikarbonaattikovuuden eli ohimenevän kovuuden nousua muodostamalla  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ - ja  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ -yhdisteitä. Lisäksi bikarbonaatti,  $\text{HCO}_3^-$ , vaikuttaa osaltaan sähkönjohtavuuden nousuun. Sen sijaan nitraatti-typen kasvuun se ei suoraan vaikuta. Bikarbonaattipitoisuuden lisäyksen seuraukset ovat positiivisia, sillä se vähentää veden syövyttäviä ominaisuuksia. Bikarbonaatit pohjavesissä ovat luontaisista alkuperää.

Ympäröivien peltoalueiden suora vaikutus näkyy Hetesuolla kohonneina nitraatti-typen pitoisuuksina. Erityisen selvästi kohoaminen on havaittavissa havaintoputkessa 7 ja heikommin vedenottamalla ja havaintoputkessa 6. Nitraattipitoisuuksien lähtötaso Hetesuolla on ollut alhainen eivätkä pitoisuudet ole vielä lähellä talousveden laatuvaatimuksien ylärajaa. Ne ovat kuitenkin selvästi lähtötasoltaan kohonneita.

Hetesuon kaakkoispää kerää taulukossa 13 esitetyn havaintoputken 7 laadun kehityksen perusteella vettä ainakin ajoittain myös ympäristön moreenialueilta. Putken 7 veden laatu on muuttunut pumppauksen alkamisen jälkeen antikliinisestä synkliinisen kaltaiseksi taulukon 9 mukaisesti. Veden laatu on havaintoputkessa 7 muuttunut hyppäyksenomaisesti vuonna 1991 veden oton alkamisen jälkeen. Tämän jälkeen laatu on pysynyt melko vakaana tällä ylemmällä tasolla.

Taulukko 13. Veden laadun mediaanit putkessa 7 ennen ja jälkeen vedenottoa sekä anti- ja synkliinisten esiintymien veden laadun mediaanit (Hatva 1989).

parametri	yksikkö	Pp 7		Muut esiintymät	
		ennen	jälkeen	antikl.	synkl.
alkalitetti	mmol/l	0,42	0,96	0,5	0,88
kovuus	mmol/l	0,22	0,53	0,31	0,77
johtokyky	mS/m	5,4	13,1	8,4	20
pH		7,3	7,1	6,6	6,4
CO <sub>2</sub>	mg/l	5	17	20	34
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0,11	0,64	0,1	0,2
N	kpl	6	9	28-48	42-158



Raskasmetallien ja mineraaliöljyjen pitoisuudet ovat olleet pieniä Hetesun vedenottamolla kuten koko Multikankaan alueella. Maa-ainesten otto ei ole kohottanut veden alumiinipitoisuuksia, koska pohjaveden pH on pysynyt korkeana. Pohjaveden pH:n suuruus riippuu suurelta osin sadeveden happamuudesta, sillä eri putkien pH:t korreloivat voimakkaasti keskenään.

Multikankaan harjun pitkittäissuuntainen päävedenjakaja on putkien 210 - 108 välillä. Siitä johtuuko vedenjakajan paikka alueella olevasta kalliokohoumasta, ei ole täyttä varmuutta. Ainakin kohouman eteläpuolitse näyttää putken 107 pumppauksen hyvän tuoton perusteella tapahtuvan virtausta. Kallion vaakarajojen kautta ei sen sijaan putken 108 huonon tuoton perusteella tapahdu merkittävää pohjavesivirtausta. Päävedenjakaja näyttää pysyneen melko tarkasti samalla kohdalla kaatopaikan itäpuolella eri vuosina tapahtuneiden pinnankorkeuden mittausten mukaan.

#### 7.4.2 Kaatopaikan ympäristö

Pohjaveden laadun mittaukset vahvistavat pinnankorkeuksien ja maalajien perusteella tehtyä päätelmää kaatopaikan suotovesien virtaussuunnista. Kaatopaikan kohdalla ja sen länsipuolella on orsivesialue, jonka pohjavesitaso on neljä metriä harjun ydinosan pohjavesipintaa korkeammalla. Kaatopaikan kohdalta tapahtuu pohjavesivirtausta kohti harjun ydinaluetta. Harjun ydinosaan päästyään päävirtaus jatkuu kohti länttä. Oletettu ruhje vaikuttaa putken 103 pinnankorkeuden mukaan virtaussuuntiin johtamalla suotovesien virtausta osin kohti etelää. Eteläisen rinnakkaisharjanteen pinnankorkeudet ovat Haulikkoradan kohdalla korkeammalla kuin putkessa 103, joten kaatopaikan lika-aineet eivät kulkeudu myöskään mahdollista tämän harjanteen karkeaa ydinosaa pitkin kohti vedenottamoa.

Kaatopaikan vaikutus on näkyvillä lähes kaikissa mitatuissa veden laatuparametreissa havaintoputkissa 1 ja 2, jotka sijaitsevat kaatopaikan eteläpuolella. Vaikutus näkyy lievemmin mutta kuitenkin selvänä havaintoputkessa 3, joka sijaitsee kaatopaikan kaakkoispuolella. Useiden laatuparametrien havaintoputkien välinen korrelointi on erittäin huonoa näissä putkissa. Tämän perusteella itä-länsi suuntainen virtaus putkien välillä on hyvin vähäistä. Myös pohjaveden korkeusaseman mittaustulokset tukevat tätä olettamusta. Kaatopaikkavesien vaikutus on hitaasti pienenemässä putken 2 laatuparametrien mukaan. Sen sijaan putkessa 1 muutos on selvää vain nitraatti- ja nitriittitypen osalta. Kaatopaikka tulee vaikuttamaan veden laatuun putkissa 1 ja 2 vielä kymmeniä vuosia.



Havaintoputkessa 4, joka sijaitsee noin 500 metriä putken 3 itäpuolella, ei kaatopaikkavaikutuksia enää ole havaittavissa. Sen sijaan veden laatu putkessa 4 on koko alueen paras lähes kaikilla parametreilla mitattuna. Myöskään soran ottaminen ei merkittävästi vaikuta tämän putken veden laatuun, ellei lievä nitraattitypen kasvu johdu ilmansaasteista suojaavan maannoskerroksen puuttuessa.

Havaintoputkien 3, 4 ja 107 veden laadun, harjun ydinosaan pohjaveden pinnankorkeuksien mittaustulosten sekä tehtyjen maavastusluotausten tulkintojen perustella arvioiden pohjaveden virtausta ei tapahdu kaatopaikalta Hetesuon vedenottamolle. Hetesuolla tapahtuva vedenotto ei myöskään vaikuta gradienttiin kaatopaikan ympäristössä sillä vedenottamon vaikutus ei ulotu havaintoputkien 5 ja 200 välillä olevan "kynnyksen" yli.

### 7.4.3 Orgaaniset kemialliset yhdisteet

#### 7.4.3.1 Tolueeni

Tolueenia eli metyylibentseeniä ( $C_7H_8$ ) käytetään (Naturvårdsverket 1989):

- kemikaalien tuotannossa
- liuotinaineena maaleissa ja muoveissa
- laastareissa, kumissa, liimassa ja lääkeaineissa sekä asfaltissa ja polttoöljyssä
- Suurin käyttökohde on bensiini, johon sitä sekoitetaan nostamaan oktaanilukua.

Ylivoimaisesti suurin osa tolueenin päästöistä Ruotsissa tuli vuonna 1987 autojen pakokaasuista. Pakokaasujen osuus tolueenipäästöistä oli noin 80 % eli 9000 tonnia vuodessa. Ilmaan joutunut tolueeni ei kuitenkaan liukene pohjaveteen vaan kulkeutuu ilmakehän ylempiin kerroksiin (Naturvårdsverket 1989).

Multikankaan alueella tolueenia on havaittu vain vuosina 1991 ja 1992 ja silloinkin vain vedenottamolta. Yksikään määrittäminen ei ole ollut lähelläkään WHO:n antamaa tolueenin enimmäispitoisuutta  $700 \mu\text{g/l}$  (Pohjois-Suomen vesitutkimustoimisto Oy 1994). Todennäköisesti tolueenin lähde on sijainnut Hetesuon alueella. Mahdollinen päästö voi olla peräisin joko maaperässä olleesta polttoöljystä, vanhasta maalipurkista tms. tai vedenottamon rakentamisen yhteydessä on käytetty tolueenipitoisia kemikaaleja tai maaleja. PSV:n määrittämissä  $10 \mu\text{g/l}$  ylittäviä pitoisuuksia ei



kuitenkaan ole havaittu enää kahteen vuoteen, joten tolueenilähde on todennäköisesti kulunut loppuun eikä sen seurantaa ole enää tarpeellista jatkaa. Mikäli seurantaa vielä jatketaan täytyy tolueeninäytteet muistaa ottaa vesifaasin pinnalta sillä tolueenin vesiliukoisuus on alhainen 0,38 - 0,54 g/l ja tiheys pienempi kuin vedellä 0,87 g/cm<sup>3</sup>. Siten tolueeni liikkuu pääosin vesifaasin pinnalla. Lisäksi tolueenin määrittäysraja tulisi olla huomattavasti alhaisempi kuin PSV:n vesilaboratorion 10 µg/l, sillä aikaisemmistakin pitoisuuksista suurin osa on ollut alueella 0,1 - 10 µg/l.

#### 7.4.3.2 Kloroformi

Kloroformia eli trikloorimetaania (CHCl<sub>3</sub>) käytetään lähinnä laboratoriokemikaalina ja liuotina-ineena. Kloroformia muodostuu autojen pakokaasuissa, pintavesien kloorauksessa sekä auringonvalon hajottaessa trikloorietyleenä. Kasvit muodostavat sitä myös luontaisesti.

Kloroformipitoisuuden katsotaan olevan selvästi luonnontilaisesta kohonnut mikäli sen pitoisuus ylittää 10 µg/l. Yhdenkään näytteen kloroformipitoisuus ei ylitä tätä raja-arvoa eikä ole lähelläkään WHO:n antamaa raja-arvoa 200 µg/l (Pohjois-Suomen vesitutkimustoimisto Oy 1994). Kloroformia ei ole todettu yli määrittäysrajan olevia pitoisuuksia enää vuoden 1992 jälkeen, vaikka määrittäysrajat ovat olleet alhaisia 0,1 ja 0,01 µg/l. Tämän perusteella myös kloroformin seuranta voidaan lopettaa tarpeettomana. Kloroformin pitoisuudet ovat olleet niin alhaisia, että se voi olla myös luontaista alkuperää. Tosin korkein pitoisuus on mitattu putkessa 1, jonka kloroformi voi hyvin olla peräisin myös kaatopaikalta.

Kloroformi haihtuu helposti ja sen vesiliukoisuus on melko pieni 8,2 g/l. Kloroformin tiheys on 1,5 g/cm<sup>3</sup>, joten se on raskaampaa kuin vesi (Kemikalieinspektionen 1994). Mikäli kloroformia jatkossa määritetään, on näytteet otettava mahdollisuuksien mukaan akviferin pohjalta.

#### 7.4.3.3 Dikloorimetaani

Dikloorimetaanin eli metyleenikloridin (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) pitoisuus on 25.7.1991 ylittänyt Hetesun vedenottamolla ja putkessa 107 WHO:n dikloorimetaanin enimmäispitoisuuden 20 µg/l (WHO 1993). Tämän jälkeen näin korkeita pitoisuuksia ei ole havaittu, mutta esimerkiksi 23.5.1994



mitattiin putkesta 7 vielä 16 µg/l oleva pitoisuus. Dikloorimetaania on havaittu kaikkialla sekä Multikankaalla että Hetesuolla. Missään putkessa pitoisuudet eivät ole olleet merkittävästi muita korkeammalla, joten dikloorimetaanin esiintymisen syytä ei ole löydetty.

Dikloorimetaani on väritön, helposti haihtuva ja palamaton neste. Sillä on hyvä rasvojen ja öljyjen liuotuskyky ja sitä käytetään erityisesti puhdistuksessa ja rasvanpoistossa. Dikloorimetaania liukenee veteen melko huonosti 7,9 - 20 g/l ja se kulkee lähinnä vesifaasin pohjassa, sillä sen tiheys on 1,33 g/cm<sup>3</sup> (Heiskanen 1994). Multikankaan pitoisuudet ovat kuitenkin olleet vain miljoonasosia teoreettisesti suurimmasta mahdollisesta liukenemismäärästä, joten dikloorimetaani voi olla täysin sekoittuneena vesifaasiin.

Ympäristöön dikloorimetaania pääsee lääke- ja muoviteollisuudesta, lakkojen, liimojen, aerosolien ja maalinpoistoaineiden valmistuksesta ja käytöstä sekä bitumin liuotuksesta asfaltin sideainespitoisuusmäärittäyksissä. Pienempiä pitoisuuksia ympäristöön pääsee sellutehtailta, jätevedenpuhdistamoilta, kaatopaikoilta ja kemikaalien kauttakuljetuksesta (Heiskanen 1994). Näistä päästölähteistä Multikankaalta löytyy ainoastaan kaatopaikka. Kaatopaikan ympäristön dikloorimetaanipitoisuudet eivät kuitenkaan ole olleet sen korkeammat kuin muuallakaan Multikankaalla. Dikloorimetaanin puoliintumisaikaksi pohjavedessä on arvioitu 2 - 8 viikkoa (Howard *et al.* 1991). Tämän ja laimentumisen johdosta normaalin pohjavesikulkeutuman mukana tulevan dikloorimetaanipitoisuuden kaatopaikan ympäristössä tulisi olla suuruusluokaltaan ainakin 100 kertaa suurempi kuin vedenottamalla, vaikka pohjavesivirtaus kaatopaikalta vedenottamolle olisi täysin esteetöntäkin. Tämän ja pinnankorkeushavaintojen perusteella dikloorimetaanin kulkeutuminen kaatopaikalta vedenottamolle normaalina pohjavesivirtauksena on hyvin epätodennäköistä.

Dikloorimetaanin pitoisuus ei Multikankaalla korreloi minkään muun veden laadun parametrin kanssa. Vaihtelut ovat suuria myös samassa putkessa eri mittausten välillä. Sen sijaan samana ajankohtana eri puolilta otettujen näytteiden pitoisuudet ovat yleensä lähes samansuuruisia. Lisäksi tähänastisista näytteistä kaikki sulan maan aikana otetut näytteet sisältävät dikloorimetaania ja yksikään maan ollessa roudassa otettu näyte ei sitä sisällä. Missään putkessa dikloorimetaani ei ole ollut merkittävästi muita putkia korkeammalla. Nämä kaikki seikat viittaisivat siihen, ettei dikloorimetaanin lähde ole pistemäinen vaan jonkinlainen hajakuormitus. Hajakuormittajista ensisijaisesti mahdollinen lähde on ilmaitse tuleva kuormitus.



Suomen kunnallisten kaatopaikkojen ilmaan tapahtuvat dikloorimetaanipäästöt ovat arviolta suuruusluokkaa 4 tonnia vuodessa ja ilmakehämäärä on nelinkertainen vesistökuormitukseen nähden. Kaikkien neljän Suomessa tutkitun kunnallisen kaatopaikan kaatopaikkakaasut ovat sisältäneet dikloorimetaania pitoisuusvälillä 1 - 30 mg/m<sup>3</sup> (Assmuth 1990). Osaan ilmaa haihtuneesta dikloorimetaanista voidaan olettaa palaavan maahan vesisateen mukana (Howard 1990). Tämän perusteella Multikankaalla esiintynyt dikloorimetaani voisi olla peräisin kaatopaikkakaasuista. Tämä selittäisi täydellisesti dikloorimetaanin esiintymisen sulan maan aikana ja tasaisen esiintymisen eri puolella pohjavesiesiintymää. Multikankaan sadevedestä tehtiin dikloorimetaanin määrittäminen 14.10.1994. Siinä dikloorimetaania ei kuitenkaan havaittu. Kyseinen sadevesinäyte ei ollut kovin edustava, sillä sadeveden keräily tapahtui avoimeen astiaan, josta dikloorimetaani voi haihtua ennen näytteen saamista pulloon. Lisäksi syksyn myöhäisestä ajankohdasta johtuen ilman lämpötila oli matala ja dikloorimetaanin kaasuuntuminen on ollut tällöin vähäistä.

Mikäli dikloorimetaanin lähde on yksittäinen pistemäinen lähde, sen on sijaittava hyvin lähellä vedenjakaja-aluetta, koska dikloorimetaania havaitaan vedenjakajan molemmin puolin. Tällöin vaihtoehtoksi jää vain kaatopaikka, koska dikloorimetaani ei kuitenkaan vettä raskaampana voi kulkeutua pohjavesivirtausta vastaan ja muita putkia ylempänä olevasta putkesta 1 on dikloorimetaania havaittu. Lisäksi on olemassa kahden erillisen päästölähteen mahdollisuus. Hetesuolla mitatut dikloorimetaanipitoisuudet olisivat peräisin Hetesuolla olevasta päästölähteestä kuten esimerkiksi pellolla käytetyistä rikkaruohomyrkyistä tai niiden hajoamistuotteista ja kaatopaikan ympäristön pitoisuudet kulkeutuisivat kaatopaikalta. Tiirinniemen kaivosta mitattu dikloorimetaani sopii kuitenkin huonosti tähän hypoteesiin.

Dikloorimetaanin tarkkailua Multikankaalla on edelleen jatkettava sillä sitä esiintyy jatkuvasti jopa merkittäviä määriä. Toukokuussa 1994 dikloorimetaanin pitoisuus lähellä vedenottamoita havaintoputkessa 7 oli lähellä WHO:n talousveden enimmäissuosituksia. Tämän takia tulisi harkita dikloorimetaanin määrittämistä toistaiseksi neljäksi vuodeksi vedenottamolta tarkkailuohjelman yhteydessä. Mikäli jatkossakaan talvisin ei vedestä löydetä dikloorimetaania, voidaan talvella tapahtuvat määrittäykset jättää pois. Analyysitulosten tulisi saapua nykyistä nopeammin laboratorioista sillä dikloorimetaanin ajallinen vaihtelu tehtyjen määrittäysten perusteella on hyvin nopeaa. Tämä helpottaisi päästölähteen etsimistä, koska lisätutkimuksiin voitaisiin ryhtyä heti suurten pitoisuuksien ilmaantuessa. Tällä hetkellä tulosten saapuessa laboratorioista tilanne on jo ehtinyt



jälleen muuttua. Dikloorimetaanin herkkä haihtuvuus hankaloittaa sen tutkimista sillä haihtuminen voi vaikuttaa saatuihin analyysituloksiin.

## 8. Suojavyöhykkeet

### 8.1 Vedenottamoalue

Hetsuon vedenottamoalueena on aidattu 60 m \* 44 m kokoinen alue. Sillä sijaitsevat kuvassa 28 näkyvät vedenottamon kaivot sekä alkalointirakennus. Vedenottamoalue ulottuu pohjaveden tulosuunnassa lähes suon laitaan, joten alueen rajausta on asianmukainen.



Kuva 28. Hetsuon vedenottamoalue.

### 8.2 Lähisuojavyöhyke

Hetsuon vedenottamon suojavyöhykkeiden rajaukset on esitetty kuvassa 29. Lähisuojavyöhykkeen ulkorajaus noudattaa pohjois- ja eteläreunaltaan maatutkauksen maalajitulkintojen perusteella tehtyjä rajauksia. Itäreuna on ulotettu havaintoputken 7 länsipuolelle, koska pohjaveden







virtaussuunta on ajoittain putkesta 7 vedenottamolle päin. Vedenottamon lähisuojavaikkeen länsireuna on ulotettu havaintoputken 5 länsipuolelle. Nykyiseen vedenottamoon nähden raja-alue on ulotettu hyvin kauas mutta suon aiheuttamien vaikutusten takia on mahdollista, että vedenottamon kaivot joudutaan joskus siirtämään Multikankaalle. Tämä mahdollinen vedenottamopaikan siirto on otettu huomioon lähisuojavaikkeen rajauksessa Vesi- ja ympäristöhallituksen ohjeiden mukaisesti. Toinen selkeä syy lähisuojavaikkeen länsipään rajaukselle on alueen geologisten olosuhteiden muutos putken 5 länsipuolella. Pohjavesipinnassa on tällä kohtaa voimakas pudotus kalliokynnyksen tai tiiviiden maakerrosten takia. Vedenottamon vaikutus ulottuu selkeästi putkeen 5 mutta sen jälkeen pumppauksen vaikutusta ei enää ole havaittavissa esimerkiksi putkessa 200.

### 8.3 Kaukosuojavaikke

Hetesuon vedenottamon kaukosuojavaikke on jaettu kahteen osaan. Kaukosuojavaikkeen A-osaan kuuluvat alueet, joilta pohjaveden virtaussuunnat ovat selkeästi pohjavedenottamolle päin. B-osaan kuuluu vedenjakaja-alue, jossa pohjaveden pinnankorkeuksien muutokset harjun ydinosa-alueella ovat hyvin pieniä. Tältä alueelta pohjavesivirtaus vedenottamolle on epätodennäköistä mutta tätä mahdollisuutta ei voida kokonaan sulkea pois. Kaukosuojavaikkeen pohjois- ja eteläreunojen rajaukset perustuvat kairauksiin ja maatulkausten tulkintoihin.

## 9. Riskitekijät Multikankaan pohjavesialueella

### 9.1 Yleistä

Jäljempänä kuvatut riskitekijät on tarkasteltu sekä päästö- että sijaintiriskikomponenttiensa osalta. Näiden suuruutta on arvioitu nelijakoisella asteikolla vähäinen - kohtalainen - suuri - erittäin suuri. Riskitekijöiden sijainnit on esitetty liitteessä 4.

### 9.2 Kaatopaikka

Multikankaan kaatopaikka on ollut toiminnassa vuodesta 1965 vuoteen 1989 (Keränen 1992).



Kaatopaikalle on tuotu Kuhmon keskustaajaman yhdyskuntajätteet ja kaikki alueella syntynyt teollisuusjäte energiantuotantoon käytettyä puunjalostusteollisuuden jätettä lukuunottamatta. Teollisuusjätteen osuus täytöstä ei kuitenkaan liene merkittävä, koska merkittävää teollisuutta alueella on ollut vähän. Kaatopaikka on ollut käytössä ennen ongelmajättemääräysten voimaantuloa. Niinpä esimerkiksi jäteöljyt on hyvin yleisesti kuljetettu kaatopaikalle, koska mitään muutakaan keräysjärjestelmää niille ei ole ollut. Lisäksi kaatopaikalle on tuotu sakokaivolietteet ja ilmeisesti metsähallituksen lentoruiskutuksissa käyttämättä jääneet vesakontorjunta-aineet. Kaatopaikalle tuotu jäte on poltettu täyttötilan pienentämiseksi ja jätteen hävittämiseksi 1960-luvulta aina 1980-luvulle asti. Vaikka polton seurauksena lähiympäristön ilmaan on ilmeisesti päässyt merkittäviäkin määriä haitallisia yhdisteitä, ei se ole aiheuttanut vaurioita esimerkiksi lähiympäristön puustoon. Vasta viimeisinä vuosina kaatopaikkakäsittely on ollut nykyisen tietämyksen valossa asianmukaista. 1980-luvun puolivälin tienoilla kaatopaikalle on saatu kaatopaikkakone ja tämän jälkeen tiivistetty jäte on peitelty asianmukaisesti kerroksittain täyttömaan kanssa (Juntunen Matti 1994). Kaatopaikkaa on aluksi täytetty vanhan orsivesilammen rantaan ja itse lampeen, mutta myöhemmin täyttö on ulottunut tämän lammen ulkopuolelle.

Kaatopaikan täytön loputtua 1989 kaatopaikka kunnostettiin tehdyn kunnostussuunnitelman mukaisesti (Maa ja Vesi Oy 1989). Kunnostuksen tavoitteina oli suotovesimäärän vähentäminen sekä asianmukainen kaatopaikkakaasun poistaminen. Kunnostuksen yhteydessä varsinaisen kaatopaikkatäytön päälle kuljetettiin kymmeniä tuhansia kuutioita täyttömaita, millä saavutettiin riittävä kaltevuus pintavesien kulkeutumiseksi pintavaluntana alueen ulkopuolelle (Juntunen Matti 1994). Pintamaakerrokseen ajettiin mahdollisimman tiiviitä maakerroksia imeytymisen estämiseksi. Täytön ulkopuolelle kaivettiin avo-oja, jota pitkin pintavalunnan ajateltiin valuvan Isoon Kuikkalampeen. Jätetäyttöön on tehty salaoja suotovesien keräämiseksi kaivoon, josta ne voitaisiin koota puhdistettavaksi. Lisäksi kaatopaikkakaasun poistoa varten on tehty louheesta kaasunpoistokaivot. Pintavaluntaa näyttää muodostuvan kuitenkin vain keväisin lumen sulamisaikana. Muulloin kaatopaikan pinta näyttää imevän sadeveden sisäänsä. Salaojakaivoon ei koskaan ole muodostunut sellaista määrää suotovesiä, jotta sitä olisi tarvinnut tyhjentää. Vain pitkään jatkuneen sateen jälkeen salaojaputken päästä tippuu hiljalleen pieni määrä vettä kaivoon.

Kaatopaikalle on tuotu 1970-luvulla useita tynnyrillisiä käyttämättä jäänyttä lentoruiskutusten torjunta-ainetta (Ohtonen Heimo 1994). Nämä mustat myrkkytynnyrit ovat sisältäneet ilmeisesti hyvin yleisesti käytettyä Kemiran DM-vesakontuho merkkistä torjunta-ainetta (Tolonen Hannu



1994). Tehoaineina tässä torjunta-aineessa ovat esterimuotoiset fenoksihapot 2,4-D eli 2,4-dikloorifenoksisietikkahappo 333 g/l ja MCPA eli 2-metyyli-4-kloorifenoksisietikkahappo 167 g/l tai 500 g/l (Virtanen Jarmo 1994). Nämä vaikuttavat tehoaineet ovat suhteellisen vesiliukoisia. 2,4-D on altis haihtumiselle, valolle sekä biologiselle hajoamiselle. Kaatopaikan happamat olosuhteet hidastavat kuitenkin tämän aineen hajoamista. Aineiden puoliintumisajat ovat maaperässä muutamia viikkoja. Pohjavesiin päässeiden aineen hajoamisesta ei löytynyt tutkittua tietoa. UV-valo, ravinteet sekä korkea lämpötila edesauttavat kuitenkin veteen päässeen 2,4-D:n hajoamista. Siten hajoaminen pohjavedessä, missä olosuhteet ovat näiltä osin huonot, on todennäköisesti melko hidasta. Aineiden hajotessa syntyvistä reaktiotuotteista ei ole tarkkaa tietoa. Vaikka parikymmentä vuotta sitten kaatopaikalle tuodut tynnyrit olisivatkin hajonneet ja aineet joutuneet osittain pohjavesiin, on hyvin epätodennäköistä että jäämiä aineista löytyisi enää pohjavedestä. Kaikki aineista tehdyt tutkimukset on tosin suoritettu huomattavasti pienemmillä konsentraatioilla kuin mitä tynnyreiden äkillisesti hajotessa muodostuneet ovat olleet.

Veden laadun, pohjaveden pinnankorkeuksien sekä maavastusluotausten mittaustulokset tukevat kaikki oletusta, että kaatopaikkavesien päävirtaussuunta on ensin etelään harjun keskiosaa kohti ja sen jälkeen länteen harjun ydinosaa pitkin. Harjun kaakkoispuolella oleva kallioruhje voi kuljettaa osan laimentuneista suotovesistä myös etelään päin. Mikäli tätä ruhjetta pitkin kulkeutuu likaantunutta pohjavettä, sen kulkeutumisesta tästä eteenpäin ei ole tietoa. Putken 4 veden laadun, kaatopaikan itäpuolisen vedenjakajan ja tehtyjen maavastusluotausten perusteella vaaraa kaatopaikkavesien kulkeutumisesta vedenottamolle ei ole. Tätä mahdollisuutta ei kuitenkaan ole voitu täysin poissulkea, koska mitään muuta lähdettä vedenottamolta löytyneelle dikloorimetaanille ei ole pystytty osoittamaan.

Vanhan orsivesilammen pohjasedimentit pitävät lammen pohjan läpi suotautuvan vesimäärän pienenä. Lisäksi tällaiset tiiviit maakerrokset puhdistavat tehokkaasti lika-aineita. Tämän perusteella pohjavesiin kulkeutuva likainen suotovesi pääsee pohjavesialueelle vanhan lammen reunan ylitse purkautumalla sekä lammen ulkopuolelle muodostetun jätetäytön läpi suotautumalla. Karkearakeisten maalajien alueelle päästyään maaperässä tapahtuva puhdistuminen heikkenee merkittävästi, koska adsorboituminen hiekan ja soran pinnalle on vähäistä sekä niiden ioninvaihtokapasiteetti on heikko. Maavastusluotausten perusteella kaatopaikan suotovesien vaikutus lakkaa jyrkästi harjun ydinosassa itään päin siirryttäessä. Länteen päin vaikutus lakkaa vähitellen (Keränen 1992) lähinnä advektion vaikutuksesta. Kaatopaikkavesien vaikutus näkyy selvänä vielä noin 500

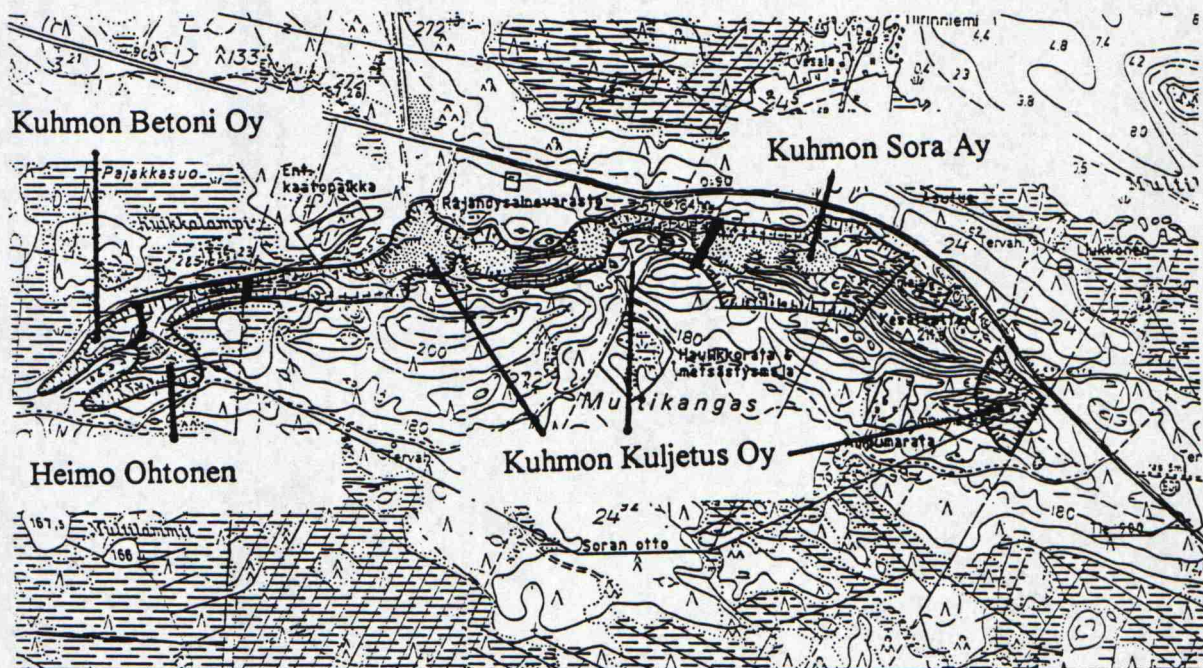


metriä kaatopaikalta länteen harjun ydinosassa putkesta 101 otetuissa vesinäytteissä. Tästä putkesta otetut näytteet ovat osittain olleet jopa huonompilaatuisia kuin kaatopaikan läheisyydessä olevien putkien veden laatu.

Vaikka kaatopaikkavesillä olisi esteetön kulku harjualueelta pitkin pohjavedenottamolle, olisivat lika-ainekonsentraatiot pienentyneet vähintään kertaluokkaa sadanteen osaan pohjavedenottamolle tultaessa. Tämä johtuu puhtaiden vesien aiheuttamasta sekoittumisesta sekä maaperässä tapahtuvasta muuntumisesta. Koska konsentraatiot putkissa 1 ja 2 ovat vain hieman yli talousveden laatuvaatimusten, on mitattavien pitoisuuksien kulkeutuminen vedenottamolle epätodennäköistä siinäkin tapauksessa, että virtaus vedenottamolle olisi esteetöntä.

Kaatopaikka sisältää osittain myös ongelmajätteitä ja kaatopaikan suotovesien vaikutus eteläpuolissa pohjavesiputkissa on täysin selvä. Siten kaatopaikan päästöriski on erittäin suuri. Koska kaatopaikalta peräisin olevan veden kulkeutuminen vedenottamolle on epätodennäköistä, kaatopaikan sijaintiriski on vähäinen.

### 9.3 Maa-ainesten ottaminen



Kuva 30. Multikankaan maa-ainesten ottoalueet



Multikankaan alueelle on vuosikymmenien kuluessa syntynyt laaja soramonttualaue, joka sijoittuu pääosin Hetesun vedenottamon kaukosuojavyöhykkeelle. Pieni soramonttu on myös nyt rajatun lähisuojavyöhykkeen rajan sisäpuolella. Karkeasti arvioiden yksi neljäsosa kulutetusta soranotto-alueesta sijoittuu myös vedenhankinnan kannalta tärkeän pohjavesialueen ulkopuolelle. Maa-ainesten ottoalueet on esitetty kuvassa 30.

Lähisuojavyöhykkeen sisään sijoittuvan Kuhmon Kuljetus Oy:n montun käyttökelpoinen materiaali on hyvin pitkälti jo hyödynnetty. Monttu on aikaisemmin kaivettu muutaman metrin syvemmälle karkeinta ainesta sisältäneen harjun ydinosa kohdalta ja soramontun pohjaa on täytetty alueen hienorakeisella maalajilla tämänhetkisen montun pohjalle vievän tieliuskan tekemisen yhteydessä (Piipponen Matti 1994). Pohjavesipinnan alapuolista ottamista ei alueella ole suoritettu ja suojakerroksen paksuus ylimmän luonnontilaisen pohjavesipinnan päällä on tällä hetkellä noin 7 metriä. Alueella on tällä hetkellä voimassaoleva maa-ainesten ottolupa, mutta maa-ainesten ottaminen on ollut hyvin vähäistä. Soranottaja on jatkossa aikonut hyödyntää monttualaueelta vain alueen hienorakeisia maalajeja täyttömaiden satunnaiseen tarpeeseensa (Liukkonen Kirsi 1994). Alueen jälkihoito ja maisemointi on suorittamatta ja varoitusmerkkejä jyrkistä luiskista ei ole.

Kuhmon Sora Ay:n soramonttu on alueen suurin yhtenäinen monttualaue. Soramonttu sijoittuu kokonaisuudessaan Hetesun vedenottamon kaukosuojavyöhykkeelle ja kattaa sen A-osasta lähes puolet. Maa-ainesten ottaminen on ulotettu liian lähelle pohjaveden pintaa. Pohjaveden pinta alueella oli putkien 200 ja 4 perusteella elokuussa 1994  $N_{60} +171,6 - +172,0$ . Pohjaveden pumppaus Hetesuolla ei vaikuta pohjaveden pinnankorkeuksiin monttualaueella, koska monttualaue sijaitsee kallioharjanteen tms. takana vedenottamoon nähden. Ylin luonnontilainen pohjavesipinta on putkesta 4 tehdyn seurannan perusteella  $N_{60} +172,0 - +172,5$ . Monttualaueen länsipään pohjavesipinta on korkeammalla kuin itäpään pohjavesipinta. Monttualaueelta kesällä 1994 vaaittujen pinnankorkeuksien mukaan kaivu on tällä hetkellä ulotettu monttualaueen itäpäässä jo tasolle  $N_{60} +172,7 - +173,3$ . Ylimmän luonnontilaiseen pohjavesipinnan päällä tällä alueella on siten paikoin vain vajaa metri maa-ainesta. Otto on ulotettu jatkuvasti laajalla alueella alle sallitun ottosyvyyden sekä paikoin myös ottamisalueen ulkopuolelle. Lähes koko laajan alueen jälkihoito ja maisemointi on suorittamatta. Alueella ei ole riittävästi korkeusmerkkejä eikä varoituksia jyrkistä luiskista. Ottamisaluetta ei ole merkitty maastoon. Ottamisalue on hyvin lähellä ampumaratojen suojavyöhykkeitä.



Kuhmon Kuljetuksen voimassaolevat maa-ainesluvut jatkuvat Kuhmon Soran kaivualueelta kaatopaikan kaakkoispuolelle. Näistä luvista vuonna 1987 myönnetyn maa-ainesluvan mukainen ottamisalue on toistaiseksi hyödyntämättä. Pitkälle monttialueelle myönnetty maa-aineslupa on uusittu joulukuussa 1993. Uudessa luvassa ottoalue on jaettu kolmeen osaan, joista edellisen jälkityöt tulee maa-ainesluvan mukaan olla suoritettu ennen kuin seuraavan alueen hyödyntämistä saadaan aloittaa. Ottotoiminta on viimeisten vuosien aikana ollut alueella hyvin vähäistä. Alueen suojakerrospaksuudet ovat pääosin riittävät. Putken 4 lähiympäristössä otto on ulotettu kuitenkin vain noin puolen metrin päähän ylimmästä luonnontilaisesta pohjavesipinnasta. Lisäksi kaukosuojavyöhykkeen B-osalla otto on ulotettu putken 18 ympäristössä pohjavesipintaan. Myös putkien 19 ja 12 ympäristössä maakerrosten paksuus ylimmän pohjavesipinnan yläpuolella on vain vajaa metri. Tätä voidaan kuitenkin kaukosuojavyöhykkeen B-osalla pitää riittävänä. Kaatopaikan eteläpuolisen alueen soravarat on ainakin osittain hyödynnetty myös pohjavesipinnan alapuolelta. Otto on ulotettu 1970-luvulla noin puoli metriä pohjavesipinnan alapuolelle ja soran oton jälkeen ottoalue on täytetty hienorakeisilla maalajeilla. Kaatopaikan vaikutukset ovat olleet aistinvaraisesti havaittavissa jo tuolloin eteläpuolisen harjun pohjaveden hajussa ja ulkonäössä (Piipponen Matti 1994). Tämän alueen maa-ainesvaroja on hyödynnetty jo useiden vuosikymmenten ajan mutta lähes kaikki alueen maisemointi- ja jälkihoitotyöt ovat suorittamatta. Ottamisaluetta ei ole merkitty maastoon eikä jyrkistä rinteistä ole varoituksia. Kesällä -94 maa-aineksia otettiin vastoin maa-ainesluvan osajakoa.

Kaatopaikan länsipuolella olevat maa-ainesten ottoalueet eivät kuulu Hetesuo- valuma-alueeseen eivätkä näin myöskään suojavyöhykkeisiin. Alueella on kesällä 1994 aloitettu pohjavesipinnan alainen soranotto. Maisemointiluiskaus on suoritettu suunnitellun pohjavesilammen ja Ison Kuikkalammen välisellä alueella. Maannoskerrosta tällekin alueelle ei ole tehty keinotekoisesti, mutta se ei pohjaveden suojaamisen kannalta ole tällä alueella tarpeellistakaan. Maa-ainesten otto on Heimo Ohtosella käynnissä myös pohjavesilammen eteläpuoleisella hiekka-alueella. Varoitusmerkkejä luiskista ei ole ja maastoon merkitseminen on hiekanottoalueella puutteellista.

Multikankaan läntisin maa-ainesten ottoalue on Kuhmon Betoni Oy:n sorakuoppa. Tällä alueella otto on ulotettu paikoin lähelle pohjavesipintaa. Talousveden hankinnan kannalta suojakerrospaksuuksilla ei tällä alueella ole merkitystä. Alueen maisemointityöt ovat suorittamatta ja alueelle on tuotu runsaasti metalliromua. Alueen haltijalle on annettu siistimiskehotus alueen siivoamiseksi romuista. Tätä kehotusta ei ole noudatettu.



Kuhmon Betoni Oy:n alue on myyty joulukuussa 1994 Heimo Ohtoselle. Heimo Ohtosella on tarkoitus hakea uusi yhtenäinen maa-aineslupa länsipään sora-alueille. Samassa yhteydessä hän luopuu pohjavesipinnan alaisesta maa-ainesten otosta, koska kaivun yhteydessä soran määrä on osoittautunut odotettua vähäisemmäksi. Hän aikoo täytää jo syntyneen pohjavesilammikon vettä läpäisevällä maalajilla.

Alueella suoritetaan kiviaineksen jatkojalostamiseksi murskaustoimintaa. Käytetyt murskaamot ovat sähkötoimisia, joten pohjavesien suojelun kannalta niillä ei juuri ole merkitystä. Kiviaineksen pesuseulontaa alueella ei suoriteta, joten ongelmallisia seulontaliettteitä ei muodostu. Alueella käytettävä konekalusto on hyväkuntoista. Kuhmon soran alueella sijaitsee altaalla suojattu polttoainesäiliö koneiden tankkausta varten. Suojaamattomia polttoainesäiliöitä sijaitsi kesällä 1994 Heimo Ohtosen alueella pohjavesipinnan alaisen kaivutyön yhteydessä. Kyseisen säiliön kohtelu kaivinkoneella oli muutenkin erittäin rajua ja pohjavesialueelle sopimatonta. Maahan jääneiden jälkien perusteella alueilla on päässyt ajoittain ainakin pieniä määriä öljytuotteita maaperään. Näitä jälkiä on runsaammin länsipuolen monttalueilla esimerkiksi Kuhmon Betonin alueen murskaamon ympäristössä. Merkittäviä määriä öljytuotteita ei tiettävästi maaperään ole kuitenkaan päässyt. Pohjaveden mineraaliöljypitoisuudet ovat pysyneet alhaisina.

Maa-ainesten ottaminen tällä hetkellä muodostaa ongelman lähinnä maannoskerroksen puuttumisen takia. Paljaan karkearakeisen kivennäismaan puhdistuskyky on heikko kaikkea likaantumista vastaan. Lisäksi erityisesti Kuhmon Sora Ay:n alueella suojakerrospaksuudet pohjavesipinnan päällä ovat riittämättömät vajoveden kemiallisen puhdistumisen kannalta. Havaintoputkessa 4 ja vedenottamalla havaittava nitraattipitoisuuden nousu voi osittain johtua maa-ainesten ottoalueiden kautta pohjaveteen pääsevistä ilman typpikuormituksesta.

Soranottoalueiden muodostaman riskin merkittävyyttä vähentää se, että etäisyys soranottoalueilta pohjavedenottamolle on runsas kilometri. Vaikka pohjavesifaasissa tapahtuva puhdistuminen on hidasta, sekoittuu ottoalueilta tulevaan pohjaveteen kuitenkin merkittävästi luonnontilaisilta alueilta muodostuvaa pohjavettä. Soranottoaluilla runsaasti vaihteleva veden laatu ehtii tasaantua maaperässä ennen pohjavedenottamolle kulkeutumista. Nopeaa pohjaveden pilaantumista nykyinen soran otto ei voi aiheuttaa. Sen sijaan hitaat pitkäaikaiset laadun muutokset ovat mahdollisia.

Maa-ainesten ottamisen aiheuttama päästöriski on maannoskerroksen puutteen ja osittain



riittämättömien suojakerrosten takia kohtalainen. Myös sijaintiriskistä muodostuu kohtalainen, koska maa-ainesten ottoalueet ovat hyvin laajat kattaen lähes puolet vedenottamon kaukosuojavyöhykkeestä.

#### 9.4 Maantiet ja liikenne

Maanteiden ja liikenteen aiheuttamat haitat keskittyvät Kuhmon ja Kajaanin väliselle maantielle numero 900, joka kulkee lähisuojavyöhykkeen kautta. Tiellä käytetään jonkin verran tiesuolaa. Kuhmon sääolosuhteissa suolan käyttö on kuitenkin vähäistä sillä merkittäviä etuja suolauksella saavutetaan vain muutamina vuorokausina talven aikana. Myös vaarallisten aineiden kuljetusmäärät ovat vähäisiä. Merkittäviä kemikaalimääriä käyttävää teollisuutta Kuhmossa on vähän. Vaarallisten aineiden kuljetukset Kuhmoon koostuvat lähinnä polttoainekuljetuksista ja ne tapahtuvat pääosin kantatietä 76 pitkin. Kemikaalien kauttakulkuliikennettä tällä maantiellä 900 ei ole. Pohjavesipinnan päällä olevat suojakerrospaksuudet ovat maantien kohdalla 6 - 16 metriä.

Onnettomuustilanteiden kannalta putken 205 ympäristö on kaikkein haavoittuvin. Maantien tasausviiva on noin yhdeksän metriä maanpinnan tasoa ylempänä. Reunaluiskan kaltevuus on noin 1:2, eikä ajorataa ole varustettu kaitein. Siksi tällä alueella sattuvat onnettomuudet voivat herkästi johtaa mm. auton kaatumiseen ja esimerkiksi säiliön rikkoontumiseen. Myös suojakerros on tällä kohdalla suppakuopan pohjalla matalimmillaan. Lisäksi maantien ojista mahdollisesti valuvat hulevedet kulkeutuvat tähän suppakuoppaan.

Pohjaveden ottamon etelä- ja kaakkoispuolella suoalueen kohdalla maantiekuljetuksista ja maantiesuolasta ei ole vedenottamon vedelle haittaa. Maantieltä valuvat aineet menevät maantien ojaan, jonka pohja on tiivistä silttiä. Ojan pohjaa pitkin hulevedet kulkeutuvat nopeasti etelään pois pohjavesialueelta. Tällä kohtaa ojan pohjalla on siten luonnon muovaama pohjavesisuojaus.

Maantien päästöriski on vähäisen suolan käytön ja pienten kemikaalikuljetusmäärien takia vähäinen. Koska maantie kulkee lähisuojavyöhykkeen halki, sen sijaintiriski on kohtalainen.



## 9.5 Ampumaradat

Multikankaan pohjavesialueen kaukosuojavyöhykkeellä sijaitsee Kuhmon metsästys- ja ampu-maseuran haulikkorata sekä Kuhmon riistanhoitoyhdistyksen luotiasien ampumarata.

Luotiasien ampumarata on sijainnut alueella vuodesta 1969 lähtien. Penger, johon luotiasien luodit osuvat, on Multikankaan pääharjanteessa ja paikallinen virtaussuunta tällä kohtaa on todennäköisesti harjun ydinosaa kohti. Maaperä on kairausten perusteella tällä kohdalla hiekkaa ja kivistä hiekkaa, joten vedenjohtavuus on hyvä. Suojakerroksen paksuus pohjavesipinnan yläpuolella on tällä alueella noin 6 metriä. Siksi mahdollisten luodeista liukenevien raskasmetallien kulkeutuminen pohjavesiin on epätodennäköistä. Käyttökelpoisia näytteenottoputkia näiden aineiden kulkeutumisen seuraamiseksi ei ole mutta ainakin vedenottamalla raskasmetallien pitoisuudet ovat olleet hyvin alhaisia.

Haulikkorata on perustettu alueelle vuonna 1979. Hauleista on tutkimuksissa todettu liukenevan lyijyä happamissa olosuhteissa. Tällaiset liukenemisolosuhteet voivat muodostua silloin, kun sadeveden pH laskee tason 4 alapuolelle. Sadeveden pH oli 14.10.1994 Multikankaalta otetussa sadevesinäytteessä 5,8. Tämän perusteella lyijyn liukenemisvaaraa ei pitäisi olla. Lisäksi haulikkoradalla ammunta tapahtuu suolle, joka on ilmeisesti vanha lampi. Tällaisen lammen hienorakeiset pohjasedimentit absorboivat tehokkaasti mahdollisesti liunneen lyijyn eikä vaaraa pohjavesien pilaantumisesta ole, vaikka virtaus pinnankorkeuden mittausten perusteella on haulikkoradalta harjun ydinosaa kohti. Myös tehdyissä lyijyn kulkeutumistutkimuksissa on todettu lyijyn adsorboituvan tehokkaasti maaperässä. Suojakerroksen paksuus pohjavesipinnan päällä on haulikkoradalla noin 1 metri.

Luodeista ja hauleista liukenevien raskasmetallien on todettu kulkeutuvan maaperässä enimmäkseen vain muutamia metrejä. Etäisyydet vedenottamolle ovat luotiasien radalta on noin 1500 metriä ja haulikkoradalta noin 2200 metriä.

Haulikkoradan yhteydessä on myös varastorakennus, jota käytetään ilmeisesti hirvien nylkemiseen ja ruhojen riiputtamiseen. Tästä rakennuksesta voi teurasjätteistä päästä bakteereja myös pohjavesiin. Veden hygieenistä saastumista voi tapahtua kuitenkin vain hyvin paikallisesti, koska päästö määrä on pieni ja kulkeutumismatka ja -aika pohjavedenottamolle ovat pitkät.



Ampumaradoilla on käytössä ulkokäymälät mutta ne on sijoitettu kauemmas harjun ydinosasta. Niistä voi päästä pohjavesiin pieni määrä ulosteperäisiä bakteereja. Vaikka pohjavesi näiltä alueilta kulkeutuisi harjun ydinosaan päin, ovat kulkeutumismatkat kuitenkin niin pitkiä, että bakteerit ennättävät tuhoutua pohjavesistä ennen ottamoa.

Ampumaratojen päästöriski on vähäinen. Molemmat ampumaradat sijaitsevat kaukosuojavyöhykkeen reuna-alueilla, joten myös niiden sijaintiriski on vähäinen.

## 9.6 Peltoviljely

Hetesuon vedenottamoa ympäröi laaja peltoviljelyalue. Pohjaveden päävirtauksen tulosuunnassa pellot alkavat noin 70 metrin päästä vedenottamon kaivoista ja jatkuvat noin 500 metrin etäisyydelle ottamosta. Vedenottamon pohjoispuolella pellot alkavat noin 30 metrin etäisyydeltä ottamosta ja ulottuvat noin 300 metrin etäisyydelle. Lisäksi ottamolta itään pohjaveden päävirtauksen "alavirran" puolella pellot alkavat 100 - 150 metrin päästä ottamolta ja jatkuvat yli kilometrin etäisyydelle. Pelloja käytetään sekä nurmi- että viljakasvien viljelyyn.

Viljelijän ja Kuhmon kaupungin välillä on sopimus siitä, ettei pelloilla käytetä lietelantaa lannoitteena. Sopimuksen mukaan kaupunki maksaa vastaavan keinolannoitteen käytön aiheuttaman kustannuksen viljelijälle. Suoja-alue, jolla lietelannan käyttö on kielletty, on riittävän laaja vedenottamon ympärillä, kattaen muun muassa koko peltoalueen pohjaveden virtauksen tulosuunnassa. Siten lietelannan käytöstä aiheutuvaa pohjaveden hygieenisen saastumisen vaaraa ei ole olemassa.

Vedenottamon ympärillä olevia pelloja käytetään lähinnä nurmikasvien viljelyyn. Näillä pelloilla käytettävien lannoitteiden määrä on viljelijän oman ilmoituksen mukaan yhteensä noin 500 kg/ha Kemiran typpirikkaita Y-lannos 1:tä ja Y-lannos 2:ta eli käyttösuositusten mukainen. Lannoitteiden pääsyä pohjavesiin vähentää se, että viljelijän käyttämä lannoitteen levitin levittää lannoitteen normaalia keskipakoperaatteella toimivaa levitintä tarkemmin peltosaroille.



Lannoituksesta aiheutuva keskimääräinen typpikuorma pohjaveteen:

Y-lannos 1, 250 kg/ha/v, 26 % - N      =>      65 kg/ha/v - N

Y-lannos 2, 250 kg/ha/v, 20 % - N      =>      50 kg/ha/v - N

Yhteensä      115 kg/ha/v - N

Pohjaveden tulosuunnassa olevien peltojen pinta-ala: 8 ha

Typeä pelloille: 8 ha \* 115 kg/ha/v - N =>      920 kg/v - N

Oletetaan 20 % typestä kulkeutuvan pohjavesiin ja vedenottamolle

0,2 \* 920 kg/v - N      =>      180 kg/v - N.

Typpipitoisuuden keskimääräinen lisäys vedenottamalla

180 kg/v - N / (365 d \* 945 m<sup>3</sup>/d) =>      0,5 mg/l - N.

Typpi huuhtoutuu maaperästä nitraatteina syysateiden ja keväisin lumen sulamisen aikana. Tällöin pitoisuudet voivat kohota huomattavasti korkeammiksi. Pitkällä aikavälillä maatalouden ei kuitenkaan pitäisi aiheuttaa pohjavedessä nitraattitypen pitoisuuksissa yli 0,5 mg/l kohoamista.

Lannoitteiden käytön perusteella voisi olettaa nitraattipitoisuuden olevan koholla alkukesällä lannoituksen jälkeen. Tällaista vaikutusta vedenottamon analyysituloksista ei kuitenkaan löydy, joten välittömästi pelloilta ei valu merkittäviä lannoitemääriä pohjaveteen. Tätä edesauttaa se, että akviferi suon alla on paineellinen ja siten antikliininen. Putken 6 NO<sub>3</sub>-N arvot ovat keväisin 1992 - 1994 olleet hieman vastaavia syysarvoja korkeammat. Tämä voi johtua sulamisvesien mukana maaperästä huuhtoutuvista lannoitteista.

Vedenottamolta sekä putkista 6 ja 7 otetuista vesinäytteistä on havaittavissa selvä kasvava trendi nitraattipitoisuuden suhteen. Nitraatti on tyypillisesti peräisin maataloudesta ja myös Hetesuo- n kohonneet typpipitoisuudet ovat todennäköisesti peräisin peltolannoituksesta. Ammonium- ja nitriittitypen pitoisuudet ovat pysyneet jatkuvasti hyvin pieninä. Pitoisuudet ovat olleet lähes aina alle määrittäysrajojen.

Viljelijän ilmoituksen mukaan tuorerehun valmistuksessa ei käytetä säilöntäaineita, joten happopäästöjä ei synny. Pellon perustamisvaiheessa on osalla aluetta käytetty Kemiran Dipro merkkistä torjunta-ainetta, joka on tarkoitettu rikkakasvien torjuntaan. Pohjaveden tulosuunnassa olevilla pelloilla ainetta ei viljelijän ilmoituksen mukaan ole käytetty. Dipron tehoaineina ovat dikloropropi 400 g/l ja MCPA 200 g/l. Käyttösuositusmäärät ovat 2,5 - 4,5 l/ha. MCPA:n



käyttäytymistä maaperässä on käsitelty luvussa 10.1. Dikloropropi käyttäytyy maaperässä pitkälti samalla tavoin kuin MCPA. Siitä muodostuu maaperässä fenoksietikkahappoja. Dipron kaikkia ominaisuuksia ei kuitenkaan täysin tunneta ja Kemira on vetämässä sitä pois markkinoilta (Virtanen Jarmo 1994).

Peltojen sarkaojat ovat paikoitellen aivan liian syvät normaaliin kuivatustarpeeseen nähden. Ojien pohjat eivät kaikissa sarkaojissa kuivuneet kuivasta kesästä huolimatta ollenkaan kesän 1994 aikana. Ojien pohjilla oleva vesi ei voinut olla peräisin sadevedestä vaan se oli ilmeisesti akviferista tihkunutta pohjavettä. Ojat ulottuvat pohjavesipintaan saakka ainakin vedenottamon länsipuolella ja ne alentavat alueen pohjavesipintaa. Ojien kaivu on rikkonut vesilain muuttamiskieltoa. Toimenpide, joka saattaa aiheuttaa vedenhankinnan kannalta tärkeän pohjavesiesiintymän antoisuuden olennaista vähentymistä, vaatii vesioikeuden luvan. Pohjaveden tulosuunnassa sarkaojien kaivaminen on paikoin rikkonut turpeen ja karkearakeisen aineksen välistä tiivistä silttikerrosta. Ojien kaivun aiheuttama pohjavesipinnan alentaminen ja antoisuuden pieneneminen näkyy välillisesti pohjaveden laadun hitaana muuttumisena.

Hetesuon suoalue on riskitekijä, vaikka se olisi täysin luonnontilassa. Suon pintavedet nostavat pohjaveden kemiallista hapenkulutuista ja laskevat pH:ta sekoittuessaan siihen. Hetesuon vanhalla soraharjanteella maa-ainesten otto on ulotettu paikoin aivan suon laitaan, joten sekoittumisvaara on olemassa.

Peltoalueet sijaitsevat vedenottamoalueen välittömässä läheisyydessä myös pohjavesivirtauksen tulosuunnassa. Nitraattipitoisuuden nousun perusteella pelloilta valuvat hulevedet kulkeutuvat osittain avo-ojien kautta vedenottamolle. Tämän perusteella pellon sijaintiriski on suuri. Lietelantaa vedenottamon ympärillä olevilla pelloilla ei käytetä ja lannoitteiden käyttömäärät ovat asianmukaiset. Ajoittainen torjunta-aineiden käyttö kuitenkin lisää päästöriskiä. Peltoalueen päästöriski on kohtalainen.

## 9.7 Hetesuon alueen entinen käyttö

Hetesuon vedenottamoalue on suoalueen keskellä sijaitseva entinen soraharjanne. Alueen maa-ainekset on käytetty jo 1950-luvulla lähinnä Kekkostien rakentamiseen. Maa-ainesten ottaminen



on ulottunut pieninä kuoppina myös pohjavesipinnan alapuolelle. Nämä kuopat on täytetty myöhemmin ylijäämämassoilla (Komulainen Jukka 1994).

Maa-ainesten ottamisen jälkeen aluetta on epävirallisesti käytetty ampumaratana 1950-luvulta 1960-luvun loppuun, jolloin ammunta on tapahtunut lähes nykyisen vedenottamopaikan kohdalla olevaan matalaan hiekkarintaukseen (Tikkanen Seppo 1994). Vanhan ammuttoiminnan perusteella pohjaveteen voisi olettaa liuenneen lyijyä. Lyijypitoisuus vedenottamon vedessä on kuitenkin pysynyt hyvin pienenä. Osittain haulit on kuljetettu pois alueelta maa-ainesten oton yhteydessä ja loppuosa on vedenottamon maarakennustöiden yhteydessä sekoittunut maa-ainekseen. Mahdollinen hapan sadevesi neutraloituu nopeasti maaperässä muutamien senttimetrien matkalla (Sandborg 1994) eikä enää siten liuota lyijyä maassa olevista hauleista.

Alueelle on tuotu jonkin verran jätteitä Kuhmon taajamasta. Ilmeisesti jätemäärä on kuitenkin ollut vähäinen, sillä alue on ollut kohtalaisen siistissä kunnossa sekä 1960-luvulla (Tikkanen Seppo 1994) että vuonna 1980 tehdyn koepumppauksen aikana (Kiviniemi Pekka 1994). Koska eri ihmisiltä saatujen tietojen perusteella alueella on ollut vanhaa metalliromua, joka oli haudattu vedenottamon maatöiden yhteydessä, aluetta kaivettiin syksyllä 1994. Tarkoituksena oli tehdä massanvaihto puhtaisiin massoihin siellä, mihin romua tietävästi oli haudattu. Kaivun yhteydessä alueelta ei kuitenkaan löytynyt muuta kuin muualta tuotuja pintamaita, joten ainakaan merkittäviä romumääristä ei ole voinut olla kyse.

Vedenottamon rakentamisen yhteydessä alueen pintamaat on poistettu tien, kaivojen sekä alkalointirakennuksen kohdilta. Ympäri Hetesuon aluetta on sijainnut alueelle kuljetettuja ylijäämämaakasoja. Niiden yhteismäärä on ollut kuitenkin vähäinen, noin 100 m<sup>3</sup>:n suuruusluokkaa. Näillä maa-aineksilla maan pintaa on tasoitettu siirtämällä ylijäämämaita ottamon itäpuoliselle alueelle (Piipponen Matti 1994).

Pohjaveden virtaussuunta Hetesuolla on pumppauksen alkamisen jälkeen ennen pinnankorkeuksien tasoittumista ollut selvästi ottamolle päin. Pinnankorkeuksien tasoituttua virtaussuunnat ovat vaihdelleet. Kesän 1994 aikana pohjavesivirtauksen suunta on ollut jatkuvasta pohjavesipumppauksesta huolimatta lievästi kaakkoon ottamon kaakkoispuolisellakin alueella.



Keskeisestä sijainnistaan ja hyvin vettä johtavasta maaperästä johtuen Hetesuo vanhan toiminnan sijaintiriski on erittäin suuri. Alueella ei ole enää havaittavissa vanhojen toimintojen vaikutuksia. Päästöriski on siten vähäinen.

## 9.8 Kesäteatteri

Hetesuo vedenottamon lähisuojavaohyöhykkeen reuna-alueella sijaitsee Kuhmon nuorisoseuran kesäteatteri. Kesäteatterille on rakennettu kesällä 1993 porakaivo mutta sen vesi on ollut erittäin huonolaatuista. Sen takia kesäteatterin käyttämä vesi tuodaan edelleen muualta. Siten kohteessa muodostuvien jätevesien määrä on hyvin vähäinen. Minkäänlaista jätevesien viemärintijärjestelyä kesäteatterin käyttämällä vanhalla hiihtomajalla ei ole. Pääasiallinen kesäteatterin aiheuttama pohjavesiriski muodostuu alueen ulkokäymälöistä. Esimerkiksi kesällä 1994 kesäteatterilla kävi yli 4000 katsojaa seuraamassa näytöstä. Yleisö ja esiintyjät käyttävät alueella olevia ulkokäymälöitä. Niissä muodostuvat jätteet kootaan saaveihin. Ulkokäymälöistä voi päästä jonkin verran ulosteperäisiä bakteereja myös käymälöiden ulkopuolelle mutta niiden kulkeutuminen pohjavesiin on yli kymmenen metrin suojakerrospaksuuden takia epätodennäköistä. Mikäli bakteereja kuitenkin pääsisi pohjavesiin, niiden luontainen puhdistuminen pohjavesissä ennen vedenottamoa on vielä todennäköistä.

Päästöriski muodostuu lähinnä ulkokäymälöistä mutta tiiviiden muoviasioiden ansiosta päästöriski jää vähäiseksi. Kesäteatterin alueella suojakerroksen paksuus pohjavesipinnan päällä on noin kymmenen metriä mutta teatteri sijaitsee lähellä lähisuojavaohyöhykkeen reunaa. Kuormittaja on kuitenkin vain pistemäinen, joten sijaintiriski jää vähäiseksi.

## 9.9 Räjähdyssainevarasto

Pohjavesiputken 108 pohjoispuolella lähellä maantietä 900 sijaitsee Aug. Korhonen Oy:n räjähdysainevarasto. Mitään nestemäisiä aineita varastossa ei säilytetä, joten pohjaveden suojelun kannalta varasto muodostuu ongelmaksi vain tulipalossa tai vastaavassa vahinkotapauksessa sammutuskemikaalien käytön vuoksi. Varaston päästöriski on vähäinen.



Pohjavesivirtauksen kannalta varasto sijaitsee vedenjakaja-alueella, mutta paikallinen vedenjohtavuus on kuitenkin hiekkamaasta johtuen kohtalainen. Pohjavesivirtaus alueelta harjuun on epävarmaa. Räjähdyssainevaraston sijaintiriski on siten vähäinen.

#### 9.10 Asutus

Hetesuon vedenottamolta on matkaa Kuhmon taajama-alueen reunaan vajaa kilometri. Lisäksi ottamon etelä- ja kaakkoispuolella on harvaa omakotiloasutusta sekä harjun pohjoislaidalla pari omakotitaloa. Sijaintiriskin kannalta kriittisin asuinrakennus on Jukka Komulaisen rakenteilla oleva omakotitalo, joka sijaitsee moreenikumpareella noin 300 metriä pohjavedenottamolta kaakkoon. Pohjavesivirtaus tämänkin rakennuksen kohdalla vedenottamolle on kuitenkin vain ajoittaista ja moreenimaaperästä johtuen vähäistä ja hidasta. Päästöriskin kannalta ongelmallisin rakennus on Osmo Liukkosen omakotitalo harjun pohjoislaidalla hevostalleineen. Lisäksi hevosille on rakennettu lähemmäs harjun keskiosaa esterata. Nämä rakennelmat sijaitsevat kuitenkin harjanteella, joka on maatutkatulkinnan perusteella moreenia (Insinööritoimisto PSV Oy 1994 b) ja ainakin asuinrakennuksen kohdalla virtaus on pohjaveden pinnankorkeuksien mukaan harjualueen sivulle päin.

Kaikilla lähistön asuintaloilla on saniteettivesien umpisäiliöinti ja kriittisimmillä kohdilla sijaitsevilta asuinrakennuksilta vaaditaan kaikkien jätevesien umpisäiliöintiä (Liukkonen Kirsi 1994). Tämän takia pohjaveden asutuksen aiheuttama pilaantumisriski on vähäinen. Merkittävää pohjavesivirtausta vedenottamolle ei ole minkään asuinrakennuksen kohdalla. Tämän takia myös asutuksen aiheuttama sijaintiriski on vähäinen.

#### 9.11 Ilmateitse tuleva laskeuma

Ilmavirtausten mukana myös Multikankaan alueelle tulee pieniä määriä typpeä ja rikkiä lähinnä kaukokulkeutumana. Ilmaa merkittävästi saastuttavaa teollisuutta Kuhmossa itsessään ei ole. Merkittävin osa kulkeutumasta on peräisin Keski- ja Itä-Euroopasta (Tuovinen *et al.* 1990). Yksittäisiä kuormituspiikkejä lähinnä rikkiyhdisteiden osalta voi kulkeutua koillistuulten mukana Kostamuksen kaivoskombinaatista.



Multikankaan alueella ilmaitse tuleva typpilaskeuma on suuruusluokkaa  $150 \text{ mg/m}^2/\text{a}$   $\text{NO}_x\text{-N}$  ja  $150 \text{ mg/m}^2/\text{a}$   $\text{NH}_4\text{-N}$  (Tuovinen *et al.* 1990). Kuormitus typpenä on siten yhteensä  $300 \text{ mg/m}^2/\text{a}$ . Tästä laskeumasta noin 1/4 oli kotimaista alkuperää (Tuovinen *et al.* 1990). Lokakuussa 1994 otetun sadevesinäytteen perusteella kokonaistypen määrä pitkään jatkuneessa sateessa oli  $0,608 \text{ mg/l N}$ . Kun vuotuinen sadanta Multikankaalla on noin  $500 \text{ mm/a}$ , on tämän perusteella saatava typpikuormitus  $0,5 \text{ m} * 608 \text{ mg/m}^3 = 304 \text{ mg/m}^2$  eli sama kuin lähdekirjallisuuden antama arvo. Luonnontilaisella maanpinnalla kasvit pidättävät suurimman osan tästä typpikuormasta (Sandorg 1993). Koska suurelta osalta Hetesun vedenottamon valuma-alueella puuttuu maannoskerros soranoton takia, suuri osa typen yhdisteistä pääsee suoraan pohjavesiin pidättymättä kasvillisuuteen. Jos kokonaistypen määrässä ei tapahdu muutoksia maaperässä, niin pohjaveteen aiheutuva typpikuormitus soranottoalueilla on siten sadevesinäytteen perusteella  $0,6 \text{ mg/l N}$  eli samaa suuruusluokkaa, kuin peltoviljelyn aiheuttama kuormitus. Laskeumatasot ovat Multikankaalla toistaiseksi vielä kuitenkin melko matalia. Välitöntä ja äkillistä haittaa ilman kautta kulkeutuvista aineista ei ole mutta esimerkiksi putken 4 typen yhdisteiden lievä nousu voi johtua ilmakulkeutumisesta. Nitraatin trendi pohjavesissä on nouseva muuallakin Suomessa.

Ilmaitse kulkeutuvien aineiden päästöriski on kohtalainen, koska laskeumalla on lähes esteetön pääsy pohjavesiin maa-ainesten ottoalueilta. Näiden päästöjen sijaintiriski on kohtalainen, koska päästöt jakaantuvat tasaisesti koko valuma-alueelle.

#### 9.12 Yhteenveto Multikankaan pohjavesiriskeistä

Merkittävin riski Hetesun vedenottamon veden laadun kannalta on Hetesun peltoalueilla tapahtuva toiminta keskeisen sijainnin, lannoituksen, torjunta-aineiden ja syvien sarkaojien takia. On kuitenkin muistettava, että suoalue on riskitekijä täysin luonnontilaisenakin. Soran ottaminen ja maannoskerroksen puutteen takia siihen läheisesti liittyvä ilmakulkeutuma muodostavat toisen riskitoiminnan, josta ei kuitenkaan ole odotettavissa äkillisiä muutoksia veden laatuun Hetesuolla. Muista toiminnosta aiheutuva riski veden laadulle on lähinnä teoreettinen. Mahdollisten riskitekijöiden aiheuttamat päästö- ja sijaintiriskit on esitetty taulukossa 14.



Taulukko 14. Hetesuo-vedenottamon riskitekijät sekä niiden päästö- ja sijaintiriskit.

Riskitekijä	Päästöriski	Sijaintiriski
kaatopaikka	erittäin suuri	vähäinen
maa-ainesten ottaminen	kohtalainen	kohtalainen
maantie ja liikenne	vähäinen	kohtalainen
ampumaradat	vähäinen	vähäinen
Hetesuo-veltoviljely	kohtalainen	suuri
Hetesuo-entiset toiminnot	vähäinen	erittäin suuri
kesäteatteri	vähäinen	vähäinen
räjähdyssainevarasto	vähäinen	vähäinen
asutus	vähäinen	vähäinen
ilmasta tuleva laskeuma	kohtalainen	kohtalainen

## 10 Pohjaveden suojaamistoimenpiteet

### 10.1 Kaatopaikka

Kaatopaikan päästöriski on erittäin suuri, mutta siihen vaikuttaminen on erittäin vaikeaa, kallista ja epävarmaa. Koska samanaikaisesti pohjavesivalunta vedenottamolle on hyvin epätodennäköistä, ei ole syytä ryhtyä toimenpiteisiin kaatopaikan suotovesien kokoamiseksi ja puhdistamiseksi. Kaatopaikan suotovesien kokoamisesta ja puhdistamisesta voidaan ajatella olevan hyötyä vain siinä tapauksessa, että niiden valumisesta harjualueen länsiosaan katsotaan olevan jotakin erityistä haittaa. Mitään ympäristövaikutuksia tällä valunnalla ei alueen luonnonolosuhteissa ole ollut havaittavissa. Alueen soravarojen hyödyntäminen on vaikuttanut luontoon huomattavasti kaatopaikkavesiä enemmän. Raskasmetalli- ja kemikaalipitoisuudet suotovesien vaikutusalueella ovat pysyneet matalina ja talousveden raja-arvotkin ylittyvät vain typen yhdisteiden ja värin suhteen. Siten esimerkiksi estettä alueen maa-ainesvarojen käyttämiselle ei tässä suhteessa ole.

Mikäli halutaan poissulkea vähäinenkin aineiden kulkeutuminen harjun ydinosaan kautta, edullisin ratkaisu olisi pystyeristyksen kuten bentoniittiseinämän rakentaminen putken 108 ympäristössä olevan kalliokohouman etelä- ja pohjoispuolille karkearakeisen maa-aineksen alueelle. Tällöinkin suuresta maa-ainesmassojen kaivumäärästä johtuen työstä aiheutuvat maisemahaitat olisivat suuremmat kuin pohjavesieristyksestä saatava hyöty. Mikäli maa-ainesvarat alueelta kuitenkin hyödynnetään, tätä vaihtoehtoa voidaan uudelleen harkita.



Jos kaikki kaatopaikalta valuva suotovesi halutaan puhdistaa, vaihtoehtona olisi lähinnä pohjaveden pumppaaminen kaatopaikan eteläpuolelta ja sen puhdistaminen paikan päällä tai sen johtaminen rakennettavaa viemäriin pitkin Kuhmon taajaman jätevedenpuhdistamolle. Toimenpiteestä saatava hyöty on tässäkin tapauksessa työn kustannuksiin nähden hyvin vähäinen. Lisäksi tällaisten laimeiden vesien johtaminen jätevedenpuhdistamolle heikentäisi merkittävästi sen puhdistuskykyä ja vaatisi mahdollisesti laitoksen tekniikan ja kapasiteetin muutoksia.

Kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto harjualueelle valuvan suotovesimäärän vähentämiseksi olisi pyrkiä avaamaan vanha kaatopaikkalammen lasku-uoma tai asentaa putkiviemäri kaatopaikkalammen vesien johtamiseksi Isoon Kuikkalampeen. Työ sisältää kuitenkin runsaasti epävarmuustekijöitä. Ensin tulisi havaintoputken avulla selvittää, onko vanhan lammen vesipinnan taso enää sama kuin ennen kaatopaikkatäyttöä. Lammen tiiviit kerrokset ovat voineet rikkoontua kaatopaikkatäytön yhteydessä ja kaatopaikan jälkihoito on voinut vähentää suotovesimäärää siten, että vanhan lammen pinnan taso on alentunut alle Ison Kuikkalammen tason. Myös veden kokoaminen tiivistetystä jätetäytöstä, jossa on runsaasti hienoaainesta vanhan polton seurauksena, voi olla käytännössä mahdotonta. Vanhan lammen ulkopuolelle kootut jätteet jäisivät tällöinkin edelleen saastuttamaan aluetta. Lisäksi on huomattava, ettei toimenpide onnistuessaankaan puhdistaisi vettä vaan siirtäisi ongelman vain pois harjualueelta suolampeen, jossa luontaisen puhdistumisen edellytykset ovat tosin huomattavasti paremmat. Harjualueelle valuvat suotovedet eivät nykyisellään aiheuta sellaista haittaa, että edellä selostetun toimenpiteen jatkosuunnittelu olisi perusteltua.

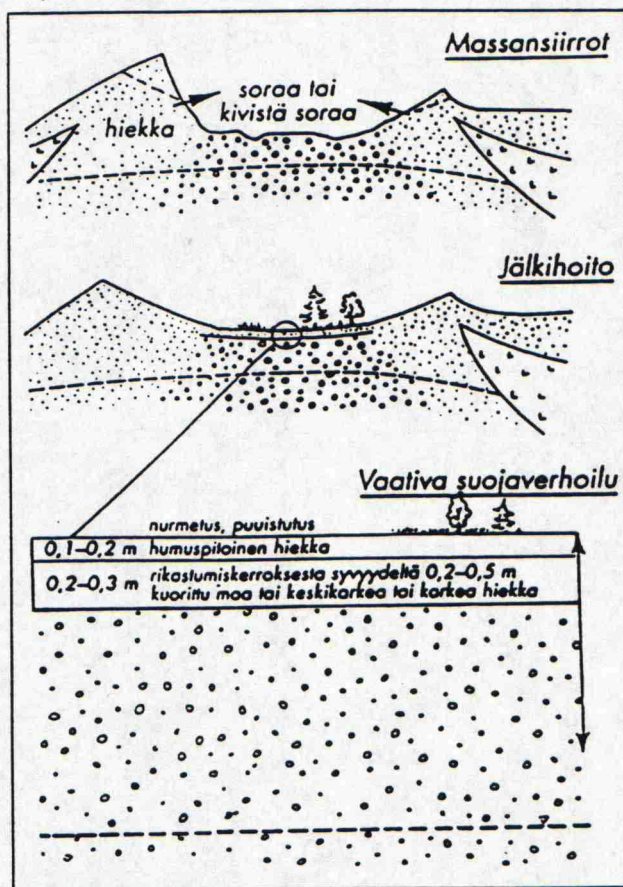
Pohjavesiputkista 1, 2 ja 3 mitatut veden laatuparametrit ovat hitaasti paranemassa. Suurin syy on luonnollisesti se, ettei uutta jätettä enää tuoda alueelle. Myös kaatopaikan jälkihoidon aiheuttama suotovesimäärän väheneminen edesauttaa asiaa. On syytä jäädä odottamaan alueen luontaisen puhdistumisen toteutumista, koska varmaa ratkaisua ongelman nopeaan poistamiseen ei ole. Kaatopaikkavaikutukset näkyvät alueella vielä kymmeniä vuosia ja alueen veden laadun seuranta tulee jatkaa. Euroopan Unionissa on valmisteilla direktiivi, jonka mukaan vanhojen kaatopaikkojen vaikutuksia tulisi jatkaa 50 vuotta käytön päättymisen jälkeen (Huotari Hannu 1994).

## 10.2 Maa-ainesten ottaminen

Maa-ainesten ottamisesta ei ole välitöntä pohjavesiriskiä mutta pitkällä aikavälillä pohjaveden laatu



muuttuu laajan maa-ainesten ottoalueen vaikutuksesta. Jatkossa on tärkeää saada jo käytetty maa-ainesten ottoalue Hetesun vedenottamon kaukosuojavyöhykkeellä maisemoitua. Ylimmän luonnontilaisen pohjavesipinnan päälle tulee jäädä vähintään kaksi metriä kivennäismaata. Kivennäismaalla tulisi olla melko hyvä vedenläpäisevyys, ettei pohjavedeksi muodostuvan veden määrä oleellisesti vähentyisi. Lisäksi suojavyöhykkeille tulee muodostaa maa-ainesten ottoalueille luonnollinen kasvukerros, jotta saadaan muodostetuksi puskuri happamia sateita vastaan. Soranottoalueiden jälkihoidon toimitaperiaate on esitetty kuvassa 31.



Kuva 31. Soranottoalueen jälkihoidon yhteydessä tehtävät massansiirrot, jälkihoito ja vaativa suojaverhoilu (Hatva *et al.* 1993 a).

Tärkeintä maisemointi ja kasvukerroksen muodostaminen on pohjavesiputken 107 itäpuolella olevilla Kuhmon Kuljetuksen ja Kuhmon Soran maa-ainesten ottoalueilla. Kuhmon Soran ottoalueessa on myös melko laajoja osia, joilla ottotoiminta on ulottunut lupaehdoissa sallittuja tasoja alemmas. Pohjan korottaminen pohjaveden suojelun edellyttämään korkeustasoon on



välttämätöntä. Myös Kuhmon Kuljetuksen alueella pohjavesiputken numero 4 ympäristössä on pienehkö täytettävä alue.

Jatkossa on tarkoitus laatia Multikankaan maa-ainesten ottoalueille yhtenäinen maisemointisuunnitelma, joka ottaa huomioon sekä pohjaveden suojelun että muut maankäytön ja maisemakuvan tarpeet. Tällaisen maisemointisuunnitelman laatimista on edellytetty uusissa Multikankaan alueelle myönnettyjen maa-aineslupien lupaehdoissa.

Uusissa maa-aineslupahakemuksissa on edellytettävä täydellisiä maaperätutkimuksia hyödynnettäväksi suunnitellulta alueelta. Hakemusten ja suunnitelmien on oltava selkeitä ja yksiselitteisiä. Niiden on oltava täydellisiä sisältäen kaikki ne tiedot, jotka edellytetään yhdyskuntien vedenhankinnan kannalta tärkeille alueille haettavilta maa-ainesluvilta. Kaikki suunnitelmat tulisi laatia olemassaolevalle 1:2000 karttapohjalle.

Kaupungilla on oltava käytössä riittävästi rakennustarkastuksen resursseja, jotta maa-aineslain mukainen valvonta Multikankaan soranottoalueilla voidaan suorittaa.

### 10.3 Maantiet ja liikenne

Normaalin pohjavesialueiden maantieluiskien suojauksen kannalta Multikankaan pohjavesialue on ongelmallinen. Juuri harjun ydinosan kohdalla maantien ojat on muotoiltu siten, että tieltä ojaan valuvat hulevedet menevät suppakuoppaan ja siitä pohjaveteen. Normaali luiskien tiivistäminen vain pahentaisi tilannetta, koska hulevedet kertyisivät laajemmalla alueella suoraan karkearakeisen kerroksen kohdalle siinä, missä suojaava maakerros on ohuimmillaan. Luiskien suojaverhoilun lisäksi supan pohjalle kerääntyneet hulevedet tulisi koota kaivoihin tien molemmin puolin ja pumpata niistä pohjavesialueen ulkopuolelle. Tämä edellyttäisi noin 300 metriä pitkän hulevesiviemärin rakentamista, josta puolet olisi paineellista osuutta. Viettoviemäriksi riittävää kaltevuutta supan pohjan ja suon välille ei saada aikaan. Lisäksi keräilykaivojen välille tulisi rakentaa rumpuyhteys maantien alitse. Suojaamisen kustannukset päästöriskiä nähden kohoavat siten kohtuuttomiksi. Nopein, edullisin ja riittävä suoja olisi jyrkimmän maantieluiskan kohdalle asennettava suojakaide, joka estäisi autojen suistumisen ja samalla kaatumisen suppakuopan kohdalla.



Muovitettu kuitukangassuojaus soveltuisi 800 metriä pitkälle tieosalle Haulikkoradan tiehaarasta Hetesuon reunaan. Maa-aines on harjun pintakerroksissa tällä kohtaa keskikarkeaa hiekka (Tielaitos, Kainuun piiri 1990), joten sen vedenläpäisevyys on hyvä. Nykyisillä kemikaalikuljetus- ja suolausmäärillä pohjavesisuojausten tarve on vähäinen mutta tie muodostaa kuitenkin aina riskitekijän. Luiskien suojauksen yhteydessä hulevedet tulee ohjata pois pohjavesialueelta. Luontevimmin tämä käy harjun itäpäässä, missä tien ojien muotoilu on Hetesuolle päin, mistä hulevedet kulkeutuvat ojaa pitkin pois pohjavesialueelta etelään kohti Lehmilampea.

#### 10.4 Ampumaradat

Todellista uhkaa ampumaratojen toiminnasta Hetesuon vedenottamolta otettavalle veden laadulle ei ole. Todellisuudessa sekä ampuma- että haulikkoradoista aiheutuva hyöty pohjavesien suojelun kannalta on niiden aiheuttamaa riskiä suurempi, koska ne samalla estävät maa-ainesten oton jatkumisen lähiympäristössään. Mikäli ampumaradoista aiheutuvia haittoja halutaan jollakin tavalla minimoida, edullinen keino on säännöllinen, esimerkiksi joka syksyinen pintamaakerroksen kuoriminen luotiasien ampumispenkasta. Tämänhetkisen tutkimustiedon valossa tällaiseen ei kuitenkaan ole tarvetta.

Ampumaratojen ulkokäymälät ja Haulikkoradan varastorakennus ovat syrjässä harjun ydinosasta, joten niiden pohjaveden hygieenistä tilaa pilaava vaikutus on vähäinen ja paikallinen. Ne eivät vaadi jatkotoimenpiteitä. Myös haulikkoradalla tulee jatkossa noudattaa kuitenkin jätelain määräyksiä ja lopettaa syntyneen hylsyjätteen hautaaminen suohon rakennettuun penkereeseen.

Haulikkoradan kaivosta otettava vesi pumpataan tällä hetkellä käsipumpulla ja kannetaan käyttöön. Muodostuvat jätevesimäärät ovat siten pieniä. Mikäli kunnollinen vesijohto metsästysmajalle tai varastorakennukseen jossakin vaiheessa rakennetaan, täytyy samalla edellyttää myös syntyneiden jätevesien imeyttämistä pohjavesialueen ulkopuolelle sillä vedenkulutus kasvaa aina merkittävästi, mikäli veden käyttäminen on helppoa.



## 10.5 Peltoviljely

Sijaintinsa takia peltoalueet muodostavat merkittävimmän Hetesuon vedenottamoa uhkaavan riskitekijän. Tiivis silttikerros turvemaan ja karkearakeisen harjun jatkeen välissä suojaa ilmeisen hyvin kuitenkin Hetesuon veden laatua. Tämän tiiviin silttikerroksen säilyttäminen on siten ensiarvoisen tärkeää ja siksi kaikkeen alueella tapahtuvaan kaivutoimintaan tulee suhtautua erittäin kriittisesti.

Alueen maanviljelijällä olisi halukkuutta ryhtyä ehkä kesän 1995 aikana jälleen perkaamaan osittain umpeutuneita ojiaan (Komulainen Jukka 1994). Alueen laajuudesta ja pienistä korkeuseroista johtuen tarvittavan virtaaman aikaansaaminen edellyttää kuitenkin niin syvien ojien kaivamista, ettei sellaista toimenpidettä tulisi sallia ainakaan vedenottamon ja Multikankaan välisellä alueella. Peltoalueen kuivuminen ojituksen ja vedenoton seurauksena on aiheuttanut peltojen painumista ja uudet ojat tulisivat nykyisiä ojia syvemmälle. Osittain ojien pohjalla on jo nyt näkyvillä silttikerros, joten syventämisen varaa ei enää ole. Alueella tapahtuvasta kaivamisesta voi aiheutua sekä pohjaveden pilaamis- että muuttamiskiellon vastaisia seurauksia sekä joka tapauksessa pohjaveden laadun vaarantamista, joten toimenpide on selvästi vesilain vastainen. Laatua vaarantavia ja pilaamiskiellon vastaisia seurauksia voi syntyä peltoalueen nitraattipitoisten vesien esteettömästä pääsystä pohjaveteen ja siitä ottamolle, mikä voi nopeasti aiheuttaa pahimmillaan jopa raja-arvot ylittäviä nitraattipitoisuuksia ja johtaa siten pohjaveden käymisen terveydelle vaaralliseksi. Pohjaveden muuttamiskiellon vastainen toimenpiteestä tulee silloin, jos pohjavesi purkaantuu peltoalueen avo-oihin ja virtaa niitä pitkin pois pohjavesialueelta aiheuttaen siten antoisuuden heikentymistä.

Ojien pohjat ovat jo nyt ainakin paikoitellen pohjavesipinnan alapuolella ja tämän takia alueella on käynnissä jatkuva pohjavesipinnan alentaminen. Pohjavesipinnan alle kaivetut syvät sarkaojat täytyy täyttää, jotta pohjavesipinnan alentamisesta johtuvat muutokset saadaan pysäytetyksi ja esiintymän antoisuus saadaan nostetuksi takaisin luontaiselle tasolle. Liian syvälle kaivettuja sarkaojia on ennen kaikkea vedenottamon pohjois- ja itäpuolisilla alueilla. Mikäli syvien ojien kaivaminen jatkuu, täytyy Kainuun vesi- ja ympäristöpiiriin ja paikallisten valvontaviranomaisten ryhtyä asiassa vesilain mukaisiin toimenpiteisiin.

Pohjaveden mikrobiologisen saastumisen vaaraa peltoviljelystä ei ole tehdyn lietalannan käytön



kieltävän sopimuksen takia. Lietelannan käyttö tällaisella alueella on muutenkin kielletty pohjaveden pilaamiskiellossa, joten periaatteessa korvauksen maksaminen tässä asiassa on turhaa. Lietelannan käyttö voidaan kieltää myös terveydensuojelulain perusteella ilman minkäänlaista korvausvelvollisuutta. Vuonna 1994 korvauksen suuruus on 16 308 markkaa, mikä on lähes sama kuin vuonna 1990, jolloin sopimus tehtiin. Korvauksen suuruus on sidottu keinolannoitteen hintaan ja EU-ratkaisun mukanaan tuoma lannoitteiden hinnanalennus on laskenut korvauksen lähtötasolleen. Korvausten nykyarvo 20 vuoden ajalta 10 % korkokannalla on noin 138800 markkaa, mikä on suurempi kuin kyseisen peltoalueen käypä hinta tänä päivänä. Toisaalta otettuun vesimäärään nähden korvauksen suuruus on ollut 4,7 p/m<sup>3</sup> eli noin prosentti puhtaan talousveden kustannuksista. Mikäli tämä hinta auttaa turvaamaan naapurisovun ja raakavesilähteen laadun, on kyseenalaista kannattaako sopimuksen purkuun lähteä.

Eräs ratkaisu pohjaveden laadun turvaamiseen voisi olla peltoalueiden pitkäaikainen kesannointi tai metsittäminen mahdollisten EU-tukien turvin. Kaupunki voinee tällaisessa tapauksessa maksaa mahdollisesti pienehkön lisäkorvauksen ratkaisun myöntäjäisinä. Todellisuus on kuitenkin se, etteivät maanviljelys ja vedenotto pitkällä aikavälillä voi toimia samalla alueella ilman ristiriitojen mahdollisuutta. Käytyjen keskustelujen perusteella myös maanviljelijän näkemys tästä on hyvin yhtäläinen muiden osapuolien kanssa.

Mahdollinen ratkaisu olisi myös peltoalueiden hankinta kaupungin omistukseen ja niiden metsittäminen. Viljelijä ei kuitenkaan ole halukas myymään aluettaan ja pellon myyntihinta muodostuisi näin kaiketi huomattavasti sen todelista arvoa suuremmaksi. Viljelijä on ilmoittanut haluavansa odottaa EU-ratkaisun todellisia vaikutuksia viljelylle. Tämä sopinee hyvin myös Kuhmon kaupungille. Mahdollisia jatkotoimenpiteitä ovat lisäksi myös vesioikeudellisten suoja-alueiden määrittäminen sekä kaivojen siirto Multikankaan itäpäähän.

Hetesuon jatkokehittämisen perusvaihtoehtoedot etuineen ja haittoineen:

1. Nolla-vaihtoehto: Jatketaan nykyisen tilanteen seuraamista entisten sopimusten pohjalta. Maanviljely jatkuu nykyisillä peltoalueilla.

- + helppo ratkaisu

- + voidaan myöhemmin siirtyä muihin ratkaisuvaihtoehtoihin mikäli tilanne niin vaatii

- maksetaan turhia korvauksia



2. Säilytetään alueen maanomistusolot entisen kaltaisena ja pyritään ehkä pienten korvausten avulla saamaan peltoalueet joko metsitetyksi tai pitkäaikaiseen kesannointiin.

- + vähennetään maanviljelystä aiheutuvat haitat minimiin
- joudutaan todennäköisesti maksamaan lisää korvauksia
- suo on riskitekijä luonnontilaisenakin

3. Muodostetaan vesioikeudelliset suoja-alueet Hetesuo-vedenottamon ympärille ja vaaditaan peltoalueen syvien avo-ojien täyttämistä

- + todennäköisesti halvin ratkaisu
- johtaa mahdollisesti peltoalueen lunastukseen
- oikeusprosessista voi muodostua hidas, kallis ja epävarma
- suo on riskitekijä luonnontilaisenakin

4. Hankitaan Hetesuo-vedenottamon ympäriltä Kuhmon kaupungin omistukseen. Madalletaan alueen sarkaojat ja metsitetään pellot.

- + voidaan itse käyttää peltoaluetta siten, että muodostuva haitta vedenottamolle on mahdollisimman vähäinen
- alueen omistaja ei ole halukas myymään peltoa
- suo on riskitekijä luonnontilaisenakin

5. Ostetaan maa-alue Multikankaan itäpäästä ja rakennetaan vedenottokaivo sinne. Raakavesi voidaan johtaa alkaloitavaksi nykyiselle laitokselle. Myös Hetesuo-kaivoja voidaan edelleen käyttää, mikäli veden laatu pysyy hyvänä. Puretaan sopimukset viljelijän kanssa.

- + pitkällä aikavälillä paras ratkaisu
- + voidaan eliminoida kokonaan sekä pellon että suon luontainen vaikutus otettavan veden laatuun
- + voidaan yhä käyttää Hetesuo-olemassaolevia kaivoja ja alkalointilaitosta hyväksi
- kustannuksiltaan ainakin lyhyellä aikavälillä kallein ratkaisu
- vaatii tarkempia hydrologisia selvityksiä harjun itäpäässä oikean kaivon paikan varmistamiseksi
- Multikankaan pohjaveden riskitekijät siirtyvät lähemmäksi vedenottamoa
- vaatii uuden vesioikeuden luvan hankkimista vedenotolle



Nopeisiin ratkaisuun Hetesuo-tilanteen takia ei tarvitse ryhtyä. Muutokset veden laadussa ovat hitaita ja alkaliteetin ja kovuuden osalta vielä positiivisia, koska niiden kasvu pienissä pitoisuuksissa vähentää veden syövyttäviä ominaisuuksia. Aluksi voidaan jatkaa nollavaihtoehdon pohjalta. Tilanteessa on syytä odottaa esimerkiksi EU-ratkaisun pysyviä, ei siirtymäkauden, vaikutuksia viljelijälle. Kalliisiin ratkaisuihin Hetesuo-lla ei ole perusteltua lähteä, koska suoalue on luontaisessa tilassakin melkoinen pohjavesiriski. Pohjaveden laadun ja pinnankorkeuksien kehitystä voidaan huoletta seurata vielä vuosia ilman vaaraa veden laadun raja-arvojen ylityksistä, ellei tilanne muutu äkillisesti. Pitkällä aikaperspektiivillä tilannetta seurattaessa voidaan kaivon rakentamista Multikankaan itäpäähän pitää toivottavana ratkaisuna ja suunnata resurssit mieluummin tämän uuden vedenottamoalueen hankintaan kuin Hetesuo- kalliiseen suo-eluun. Multikankaan riskitekijät ovat yhdessäkin pienempi uhka vedenottamolle kuin suo-alueen peltoineen muodostama riski Hetesuo-lla. Vedenottamon antoisuuteen tällä ratkaisulla ei juuri ole merkitystä, sillä Hetesuo- muodostumisalue on hyvin pieni ja peltojen merkitys muodostumisalueena olematon. Lisäksi voitaisiin hyödyntää kokonaan esiintymän antoisuus, sillä pohjaveden alennus peltoalueella ei enää vaikuta Multikankaalla.

#### 10.6 Hetesuo- alueen entinen käyttö

Vanhoista lyijyhauleista ei ole haittaa vedenottamon kannalta ja vanhoja metalliromuja tai muuta jätettä alueelta ei tehdyn kaivutyön yhteydessä löytynyt. Yksi mahdollinen ongelmalähde Hetesuo- veden laadun kannalta voidaan siten poissulkea. Hetesuo-lla ei tarvita muuta pohjaveden suo- elutoimenpiteitä kuin valvontaa. Helpoimmin tämä tapahtuu, kuten nykyisinkin, vesilaitoksen hoitajan toimesta päivittäisten huoltokäyntien yhteydessä.

#### 10.7 Kesäteatteri

Tällä hetkellä Multikankaan kesäteatteri ei näytä aiheuttavan ongelmia pohjaveden laadulle. Mikäli kesäteatterin kaivoa ryhdytään käyttämään, lisääntyy jätevesien määrä merkittävästi harjun ydinosan liepeillä lähisuo- javyöhykkeen reuna-alueella. Tämän takia kesäteatterilta tulee jatkossa edellyttää jätevesien umpisäiliöintiä, jos kaivoa ja vesijohtoa ryhdytään käyttämään.



## 10.8 Räjähdysainevarasto

Räjähdysainevarasto ei edellytä toimenpiteitä pohjaveden suojelun kannalta. Onnettomuustilanteessa tulee sammutuskemikaalien käyttöä kuitenkin mahdollisuuksien mukaan välttää.

## 10.9 Asutus

Alueella olevilla asuintaloilla ei ole suojaamattomia öljysäiliöitä ja kaikilla taloilla on asianmukainen jätevesien umpisäiliöinti. Asutus ei siten vaadi jatkotoimenpiteitä pohjaveden suojelun kannalta. Umpisäiliöiden tyhjennystä tärkeimmillä alueilla täytyy valvoa. Mikäli jatkossa alueelle on tulossa uutta asutusta, sitä on syytä ohjata mahdollisuuksien mukaan harjun etelä- ja pohjoisrinteiden moreenialueelle. Rakennuslupia ei tule myöntää vedenottamon lähisuojavaiketyhkeelle.

## 10.10 Ilmasta tuleva laskeuma

Ilmasta tulevan laskeuman suuruuteen ei kuntatasolla voida vaikuttaa, koska päästöt tulevat kaukokulkeutumana. Laskeuman vaikutuksia pohjaveteen voidaan kuitenkin pienentää huolehtimalla maa-ainesten ottoalueiden maannoskerroksen muodostamisesta.

## 11. Pohjaveden suojelemisesta aiheutuvat kustannukset

### 11.1 Kaatopaikka

Kaatopaikan suojaamiseen ei ole teknistaloudellisesti mielekästä lähteä, mikäli voidaan hyväksyä harjualueen pohjaveden likaantuminen harjun länsiosassa. Eri vaihtoehtojen kustannusten suuruusluokka vaihtelee putken 107 ympäristössä tapahtuvan pystyeristykseen noin 200 000 markan kustannuksista täydellisen kaatopaikan eristämisen noin 2 000 000 markan kustannuksiin. Pumppausjärjestelyjen kustannukset asettuisivat tälle välille. Pumppauksella saavutettava virtaussuuntien muutos voidaan toteuttaa myös pohjavesilammella mutta sen riskit oletettuun hyötyyn nähden ovat liian suuret.



## 11.2 Soranottoalueet

Soranottoalueiden kunnostaminen kuuluu soranottajien tehtäviin. Kaupungin on huolehdittava soranottolupien vakuusmaksuissa siitä, että maksut ovat riittävän suuria. Tämä motivoi soranottajia huolehtimaan myös alueidensa jälkihoidosta. Kaupunki on pyrkinyt koordinoimaan alueen maisemointia siten, että se on tarjoutunut kustantamaan osan maisemointisuunnittelusta. Tällä on pyritty siihen, että alueelle saadaan yhtenäinen maisemointisuunnitelma, joka kattaa koko Multikankaan. Samalla suunnitelmien laadinnassa voidaan paremmin ottaa myös yleisen edun vaatimukset huomioon jättämällä riittävät maisemaharjanteet ja näköesteet sekä huolehtimalla pohjaveden suojelun vaatimuksista. Keskustelun pohjana olevan arvion mukaan kaupungille aiheutuva kustannusvaikutus on noin 25000 markkaa. Summa on hyvin kohtuullinen, jos sen avulla pystytään huolehtimaan asiallisen pohjavesisuojauksen rakentamisesta sora-alueille. Sora-alueiden kunnostus jää kokonaisuudessaan maa-aineslain mukaisesti soranottajien tehtäväksi. Riittävillä vakuusmaksuilla on turvattava maisemointi myös mahdollisissa konkurssitapauksissa. Lisäksi kaupungin on huolehdittava siitä, että sen käytössä on riittävästi rakennustarkastuksen resursseja, jotta maa-aineslain mukainen valvonta Multikankaan soranottoalueilla voidaan suorittaa.

## 11.3 Hetesuo peltoalue

Kustannukset Hetesuo suoalueella riippuvat valittavasta jatkotoimenpiteestä. Seuraavassa on esitetty karkeita arvioita eri vaihtoehtojen kustannuksista. Kesannointikorvauksen tai myyntihinnan suuruudesta ei ole keskusteltu.

Nolla-vaihtoehto:

- Nykyisten korvausten maksaminen 16 300 mk/vuosi
- Korvausten nykyarvo (20 vuotta, 10 %) 138 800 mk

Korvausten maksu voidaan haluttaessa lopettaa ja kieltää lietelannan levitys terveydensuojelulain perusteella.

Metsitys tai kesannointi

- kertakorvaus, korvauksen suuruudesta ei ole neuvoteltu



## Vesioikeudelliset suoja-alueet

- oikeudenkäyntikulut	20 000 mk
- mahdollinen peltoalueen lunastus käypään hintaan 14,5 ha * 700 mk/ha	101 500 mk

## Peltoalueen ostaminen viljelijän pyytämään hintaan

- kertamaksu, maksun suuruudesta ei ole neuvoteltu

## Vedenotto-kaivon siirtäminen Multikankaan itäpäähän

- Raakavesijohto Hetesuoille maarakennustöineen	200 000 mk
- Kaivon rakentaminen laitteistoineen	100 000 mk
- Maa-alueen hankinta ja aitaaminen	50 000 mk
- Kaivon paikan varmistaminen maaperätutkimuksin	50 000 mk
<b>Yhteensä</b>	<b>400 000 mk</b>

## 11.4 Maantien suojaaminen

Kaiteiden asentamisen kustannukset putken 215 ympäristöön suppakuopan kohdalle olisivat noin 10 000 markkaa. Maantien kuitukangassuojauksen rakentaminen Multikankaan itäpäähän Haulikkoradan tiehaarasta Hetesuoan laitaan tulisi maksamaan noin 600 000 markkaa.

## 12. Uusien toimintojen sijoittaminen alueelle

Multikankaan alueelle ollaan parhaillaan laatimassa osayleiskaavaa ja tämä pohjavesialueen suojelusuunnitelma toimii osaltaan perusselvityksenä pohjaveden tarpeiden huomioinnoksi kaavatyössä. Kaavaluonnos on laadittu siten, että nykyiset toiminnot alueella säilyvät ja maa-ainesten ottoalueita käytetään ottotoiminnan päätyttyä metsätalouteen. Pääosin pohjavesialueen suojelusuunnitelma tukee tällaista toimintaa kaavan alueella. Peltoviljelyn ja vedenoton välillä vallitsee kuitenkin ristiriita mutta kaavamääräyksillä tähän asiaan ei juuri pystytty puuttumaan. Kaavaan tulee varata alue Multikankaan itäpäästä mahdollista uutta kaivoa varten. Tämän kaavamääräyksen ei tarvitse estää alueen normaalia metsätalouskäyttöä.



## 12.1 Soranottoalueiden sijoittaminen

Soranottoa ei saa laajentaa nykyisten ottoalueiden itäpuolelle vedenottamon lähisuojavaähyähykkeelle. Tällä alueella karkea aines on myös paksujen hienohiekkakerrosten alla, joten ottaminen ei ole taloudellisestikaan mielekäästä.

Kaukosuojavaähyähykkeellä pohjavesipinnan yläpuoliselle maa-ainesten ottamiselle ei ole esteitä pohjaveden suojelun kannalta, kunhan huolehditaan riittävien suojakerrosten jättämisestä pohjavesipinnan yläpuolelle ja alueen maisemoinnista ja jälkihoidosta maannoskerroksineen.

Merkittäviä taloudellisia intressejä kohdistuu alueille, jotka ovat kesäteatterin ja ampumaradan välisen harjun pääharjanteen viimeinen ehjä osuus sekä suuri rinnakkaisharjanne kaatopaikan etelä- ja kaakkoispuolella. Rinnakkaisharjanteen pohjavesipinnan yläpuolisesta soranotosta ei ole odotettavissa sellaisia pohjaveteen vaikuttavia seurauksia, jotka näkyisivät veden laadussa ottamalla. Sen sijaan pääharjanteen kuluttaminen voi osaltaan vaikuttaa veden laatuun myös ottamalla. Nämäkin vaikutukset ovat todennäköisesti pieniä kunhan suojakerrospaksuudet ovat riittävät ja ottotoiminta sekä jälkihoidotoimenpiteet asiallisia. Paineita näiden suuria maa-ainesmääriä sisältävien harjanteiden käyttöön on niiden taajamaan nähden läheisen sijaintinsa takia.

Ainakin pääharjanne voidaan kuitenkin suojata haluttaessa maa-aineslain nojalla ottamista vastaan alueen muiden toimintojen säilyttämiseksi. Viimeisen pääharjanteen osan kuluttaminen aiheuttaisi merkittävän maisemallisen haitan maantielle 900. Tähänastiset maisemahaitat on pystytty kohtuullisen hyvin estämään jättämällä suoja-alueita maantien viereen. Tällä viimeisellä alueella asianmukaisten suojavyähyähykkeiden tekomahdollisuuksia ei ole. Rinnakkaisharjanne voitaneen myös suojella haluttaessa maa-aineslain perusteella. Rinnakkaisharjanteen säilyttämistä voidaan perustella hyvin alueen maisemointisyllä. Mikäli tämäkin harjanne käytetään, muodostuu alueelle vanhoista sora- ja hiekkakuopista yhtenäinen suuri allas, jonka sovittaminen ympäröivään maisemaan on hyvin vaikeaa. Rinnakkaisharjanne on viimeinen suuri ehjä kokonaisuus Multikan harjanteista. Todennäköisesti sen materiaali on moreenimaista muiden eteläisten harjanteiden materiaalin tavoin eikä siten hyvää rakennusmateriaalia. Ennen kuin alueelle mahdollisesti joskus myönnetään maa-ainesten ottolupa, tulee alueelta vaatia tarkat selvitykset harjanteen maa-aineksista. Harjanne menettää merkittävän osan maisema-arvoistaan, mikäli sitä lähdetään



koemielessä kaivamaan ja etsimään oletettua karkearakeista materiaalia.

Pohjavesipinnan alaiseen soranottoon ei tule myöntää lupaa vedenottamon kaukosuojavyöhykkeillä, koska siitä aiheutuu merkittäviä haitallisia seurauksia pohjaveden laadulle. Lisäksi merkittävä osa kaukosuojavyöhykkeen B-osan pohjavesipinnan alaisista soravaroista on jo käytetty ja maaines korvattu hiekalla.

Kaatopaikan etelä- ja länsipuoliselle alueelle on alustavasti suunniteltu pitkää pohjavesilampea tai lampijonoa, jotta kaatopaikalta valuvat suotovedet virtaisivat varmasti länteen päin. Tällaisen noin kilometrin mittaisen lammen pinta tulisi olemaan putken 216 perusteella, jossa pohjavesipinta on alimmillaan, noin  $N_{60} + 171,0$ . Lammen pinta asettuisi hieman korkeammalle kuin pohjavesipinta ko. putkessa muodostuvan pohjasedimentin ja lisääntyvän virtauksen johdosta. Avopintaisessa vesistössä pinnankorkeudet tasaantuvat samalle tasolle koko altaassa. Tällainen vesipinta merkitsisi pohjavesipinnan laskua kaatopaikan kohdalla noin 1,5 metriä nykyistä alemmaksi. Samalla se merkitsisi vedenjakajan merkittävää siirtymistä itään päin kohti vedenottamoa ja estäisi samalla tehokkaasti kaatopaikan suotovesien teoreettisenkin kulkeutumisen vedenottamolle. Siirtymän suuruus soraisessa maaperässä olisi jopa kilometrin luokkaa, jos putken 108 ympäristön kalliokynnys ei muodosta tiivistä vedenjakajaa, kuten tämänhetkisen tietämyksen valossa näyttää. Samalla vedenjakajan siirtyminen merkitsisi pahimmillaan jopa 1/3 vähennystä Hetesuo- vedenottamon pohjaveden muodostumisalueeseen ja samansuuruisia vähennystä ottamon antoisuuteen. Tästä aiheutuvat haitalliset vaikutukset vedenottamolla olisivat huomattavasti teoreettisia kaatopaikkavaikutuksia suuremmat. Toimenpide merkitsisi myös pohjavesialueen antoisuuden olennaista vähentymistä, joten se vaatisi vesioikeuden luvan. On ajateltu myös lampijonon muodostamista ja niiden pinnankorkeuden säätämistä optimaalisen pohjaveden alennuksen tekemiseksi. Soraisessa maaperässä, jossa lampien pohjat ja reunat päästävät virtauksen lävitseen, tällaisen hallitun virtauksen muodostaminen on kuitenkin käytännössä mahdotonta. Toisaalta minkäänlaisia tiiviitä patorakennelmia ei voida tehdä, jottei kaatopaikka-vesien virtaus länteen estyisi. Muodostuvan avopintaisen vesistön veden laatu olisi hyvin heikko kaatopaikkavaikutuksen takia. Lisäksi pohjavesipinnan alaiset soravarat ovat vähäiset Heimo Ohtosen kesällä 1994 kaivaman lammikon perusteella arvioiden.

Putkien 101 ja 216 välinen pinnankorkeuksien ero on merkittävän suuri. Noin 600 metrin matkalla pohjavesipinta alenee 1,6 metriä ja pohjaveden gradientista muodostuu näin harjualueella varsin



suuri eli 2,7 promillea. Todennäköisesti tämä johtuu maa-aineksen muuttumisesta hienorakenteisemmaksi harjun länsipäässä. Mikäli pohjaveden aleneminen johtuu kuitenkin jonkinlaisesta äkillisestä alenemisesta tiiviin linssin tai kalliokynnyksen johdosta, ei tämän kynnyksen länsipuolella tapahtuvalla pohjavesipinnan alapuolisella otolla ole enää vaikutusta vedenottamon veden laatuun tai vedenjakajan siirtymiseen. Tällaisessa tapauksessa pohjavesipinnan alainen soranotto voidaan tällä alueella hyvin sallia.

Alueelle on myönnetty kesäkuussa 1994 lupa pohjavesipinnan alaiseen soranottoon noin 300 metriä pitkälle ja noin 50 metriä leveälle alueelle putken 11 länsipuolelle. Ottotoiminta on alkanut kesällä 1994 melko pienellä alueella matalana lammikkona. Tällä otolla ei ole ollut selvää vaikutusta alueen pohjavesipintoihin. Ajoittain matalassakin kaivussa on tullut esille pohjavesipinnan alapuolelta melko tiiviitä maakerroksia. Soranottajan mukaan maa-aineksessa on ajoittain ollut hajuja, jotka voivat olla peräisin kaatopaikalta (Ohtonen Heimo 1994). Pohjavesipinnan tasolta otetun maa-aineksen pinnalla on selvää ruskeaa ja mustaa sakkaa. Tämä johtuu ilmeisesti anoksisista ja happamista kaatopaikkaolosuhteista valuvan kaatopaikkaveden hapettumisesta harjussa. Tämä aiheuttaa raudan ja mangaanin saostumisen kiviaineksen pinnalle värillisinä oksideina. Vähäisen hyödyntämiskelpoisen soramäärän takia Heimo Ohtonen on aikonut luopua pohjavesipinnan alaisesta maa-ainesten ottamisesta.

Maa-ainesten ottoon läheisesti liittyvistä toiminnoista sähkötoimisten murskaamojen sijoittamisesta alueelle ei ole asianmukaisesti käytettynä haittaa. Öljysora-asemille ei saa myöntää sijoituslupia yhdyskuntien vedenhankinnan kannalta tärkeälle pohjavesialueelle. Sen sijaan öljysora-asemiakin voidaan tarvittaessa sijoittaa harjun länsipäähän kaatopaikka-alueen länsipuolelle.

## 12.2 Vanhojen maa-ainesten ottoalueiden tuleva käyttö

Multikankaan vanhat soranottoalueet ovat yksityisessä omistuksessa. Siten kaupungin on turhaa laatia tarkkaa suunnitelmaa alueen jatkokäytöstä, koska tuleva käyttö riippuu suuresti maanomistajien tarpeista. Ainakin aluksi alueet tulevat todennäköisesti metsätalouskäyttöön, mikä soveltuu erittäin hyvin pohjavesialueelle. Metsätalouskäytössä olevalta alueelta aiheutuu pohjavesipäästöjä vain hakkuiden yhteydessä, jolloin maaperästä voi huuhtoutua nitraatteja pohjavesiin (Sandorg 1993). Todennäköisesti alueen muuhunkin käyttöön tulee jatkossa paineita, koska se sijaitsee



lähellä Kuhmon keskustaajamaa.

Vanhat maa-ainesten ottoalueet soveltuvat periaatteessa hyvin monenlaiseen toimintaan kantavan ja routimattoman maaperänsä ansiosta. Kaikenlaisen rakentamisen olisi kuitenkin suuntauduttava pääosin harjun länsipäähän sekä harjun lievealueiden moreenialueille. Pohjavettä tavalla tai toisella vaarantavien toimintojen sijoitusluvut vedenhankinnan kannalta tärkeälle pohjavesialueelle täytyy evätä tai niille tulee määrätä sellaiset lupaehdot, ettei vaaraa pohjaveden likaantumisesta ole. Lannoitteiden ja kemikaalien käyttöä alueella tulee välttää.

Mietittäessä pohjavesipinnan päälle jäävän suojakerroksen paksuutta, tulee ottaa huomioon myös alueen jatkokäyttö. Mikäli esimerkiksi vanhoja maa-ainesten ottoalueita halutaan käyttää jonkinlaiseen rakentamiseen, on jätettävä vähintään kolmen metrin suojakerrokset, jotta tuleva viemärointi saadaan rakennettua. Pohjavesipinnan alentamista alueella ei pidä sallia. Riittävät suojakerrospaksuudet myös tärkeän pohjavesialueen ulkopuolella edesauttavat maaperän metsittymistä ja vähentävät alueen soistumisriskiä parantaen siten tulevan metsän tuottoa.

Kaatopaikkavesien valmiiksi likaamalle alueelle soveltuvat myös sellaiset toiminnot, jotka yleisesti hakeutuvat vanhoille soranotto paikoille. Tällaista toimintaa ovat esimerkiksi jokamiesluokan moottoriradat. Tällainenkin soveltuu periaatteessa kaatopaikan länsipuoliselle alueelle, jos voidaan samalla olla varmoja siitä, etteivät vanhat autonromut päädy tärkeän pohjavesialueen puolelle tuhopoltettavaksi ja valuttamaan öljyjään. Lähimmät asutukset ovat melko etäällä harjun länsipäästä, joten myös melua tuottavan toiminnan sijoittaminen tänne on mahdollista.

Vanhoja soranottoalueita voidaan käyttää hyvin kaikenlaisen liikunnan ja urheilun sekä virkistyskäytön tarpeisiin. Mikäli viimeiset harjunrippeet Multikankaalla voidaan säilyttää, alueen käyttäminen tällaiseen toimintaan soveltuu paremmin vaihtelevan topografiansa ansiosta. Ampumaradat vaativat omat suojavyöhykkeensä ja meluvallinsa. Näiden huomioonottaminen tulee muistaa jatkokäytön ideoinnissa.



## 13. Alueen valvonta ja seuranta

### 13.1 Valvontalautakunta

Kuhmo kuuluu vapaakuntakokeilun piirissä oleviin kuntiin. Siten Kuhmon lautakuntien nimitykset ja työnjako poikkeavat normaalista käytännöstä. Valvontalautakunta-niminen hallintokunta hoitaa ympäristönsuojelu-, palo-, väestönsuojelu- ja rakennuslautakunnille määrättyt tehtävät. Valvontalautakunta hoitaa siten ympäristölupiin, vesilakiin ja maa-ainesten ottolupiin liittyvän valvonnan.

Tärkein valvontalautakunnan valvontatehtävä Multikankaalla on huolehtia siitä, että toiminta Hetesuoan vedenottamoa ympäröivillä peltoalueilla on vesilain mukaista eikä se riko pohjaveden pilaamis- tai muuttamiskieltoa. Myös alueen asutuksen jätevesien umpisäiliöinnin toimivuus kuuluu vesilain mukaiseen valvontaan. Lisäksi valvontalautakunnan tulee huolehtia ampuma- ja haulikkoradan toiminnan laillisuudesta.

Rakennustarkastus on valvontalautakunnan yksi osasektori. Rakennustarkastajan tehtäviin kuuluu maa-aineslain mukainen valvonta. Maa-aineslain nojalla annettujen maa-ainesten ottolupien lupaehtoja on rikottu alueella toistuvasti mutta tähän asiaan ei ole riittävästi puututtu. Rakennustarkastajan ilmoituksen mukaan kunnan rakennustarkastuksen resurssit eivät riitä maa-aineslain mukaisten lupaehtojen tehokkaaseen seurantaan. Mikäli tämä pitää paikkansa, on Kuhmon kaupungin lisättävä rakennustarkastuksen resursseja, jotta lainmukainen valvonta voidaan suorittaa. Luonnollisesti kaikkien maa-aineslupien valvonta ei ole yhtä tärkeää, mutta tärkeillä pohjavesialueilla sijaitsevien maa-ainesten ottoalueiden lupaehtojen noudattaminen on eräs tärkeimmistä rakennustarkastajalle kuuluvista tehtävistä. Tiukoista ja huolella valmistelluista ottoluissa määritetyistä lupaehtoista ja suojakerrospaksuuksista ei ole mitään hyötyä, ellei niiden noudattamista valvota.

Vesilain ja terveydensuojelulain mukaisen käytännön valvonnan vedenottamon lähiympäristössä suorittaa vesilaitoksen hoitaja päivittäisen huoltokäyntinsä yhteydessä. Hänen tulee ilmoittaa mahdollisista rikkeistä ao. valvontaviranomaiselle.



## 13.2 Terveystarkastaja

Terveystarkastajan tehtäviin kuuluu huolehtia siitä, ettei alueella tapahtuvasta toiminnasta ole terveydellistä haittaa. Tällainen haitta voi aiheutua esimerkiksi lietelannan levittämisestä vedenottamoa ympäröiville peltoalueille.

## 13.3 Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri

Vesilain mukaisten toimien yleinen valvonta kuuluu vesi- ja ympäristöpiirille. Jos valvontalautakunta havaitsee, ettei vesilain säännöksiä ja määräyksiä tai sen antamia kehotuksia ole noudatettu tai asia vaatii erityistä selvitystä, sen on ilmoitettava asiasta Kainuun vesi- ja ympäristöpiirille. Vesi- ja ympäristöpiiri on puuttunut Hetesuo-tilanteeseen muutaman kerran velvoittamalla täyttämään syvimmat ojat pohjaveden tulosuunnassa lähellä vedenottamoa. Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri on katsonut tilanteen olevan tällä hetkellä vesilain määräysten mukainen.

## 14. Toimenpiteet vahinkotapauksissa

### 14.1 Yleistä

Ennakolta mahdollisia äkillisiä vahinkotapauksia Multikankaan pohjavesialueelle voi aiheutua maantiellä vaarallisten aineiden kuljetuksista, soranottoalueilla esimerkiksi säiliöiden öljyvuo- doista sekä Hetesuo-alueella joko vedenottamon alkalointilipeän tai maatalouden torjunta-aineiden käsittelyn yhteydessä. Yksityiskohtaisia ohjeita vahinkotapausten varalta ei kuitenkaan voida antaa, koska vahingot ovat aina yksilöllisiä. Viime kädessä puhdistustoimenpiteet on kuitenkin suunniteltava vasta vahingon tapahtumisen jälkeen.

Kaikkien vahinkotapausten yhteydessä vedenotto vedenottamolla on pysäytettävä mahdollisimman nopeasti, jolloin pohjaveden virtausnopeus vedenottamoa kohti hidastuu merkittävästi ja lika-aineiden leviäminen voidaan rajoittaa pienemmälle alueelle. Lisäksi tällä toimenpiteellä estetään terveydelle vaarallisten aineiden joutuminen vesijohtoverkostoon. Vedenotto voidaan aloittaa uudelleen puhdistustöiden päätyttyä, kunhan laboratoriotutkimuksin ollaan varmistuttu siitä, ettei



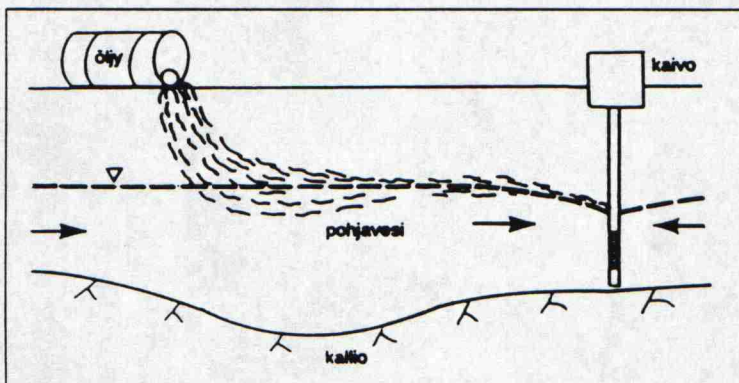
lika-aineita haitallisissa määrin ole päässyt pohjavedenottamolle.

Vahinkotapauksissa on otettava yhteyttä valvoviin viranomaisiin. Tärkeitä puhelinnumeroita on esitetty liitteessä 5.

## 14.2 Vaarallisten aineiden kuljetukset

Tällä hetkellä tiellä 900 kuljetettavat ympäristölle vaaralliset aineet ovat suurimmaksi osaksi öljytuotteita. Ensimmäinen ja tärkein tehtävä tällaisten kuljetusten onnettomuuksissa on pyrkiä keräämään mahdollisimman runsaasti valunutta ainesta maanpinnalta ennen sen valumista maaperään. Raskaampien öljytuotteiden kohdalla tämä onnistuu bensiiniä helpommin. Paremman viskositeetin omaavan bensiinin valuminen pohjavesiin on hyvin nopeaa eikä sitä onnettomuustilanteissa todennäköisesti ehditä poistaa maan pinnalta.

Maaperään päässeiden öljytuotteiden poistamiseksi joudutaan suorittamaan massanvaihtotyötä. Kaivamalla pyritään poistamaan kaikki öljyn tai bensiinin likaama maaperä. Parhaiten tähän työhön soveltuu raskas kaivukonekalusto tai muu lähellä oleva kaivukone, jolla työ saadaan nopeasti suoritetuksi. Maaperän kaivamisessa Hetesuo-kohtalla tulee olla hyvin varovainen. Suon kohdalla o-ien pohjilla ovat tiiviit silttikerrokset, jotka toimivat samalla luontaisena pohjaveden suojauksena ja ohjaavat hulevedet pois pohjavesialueelta. Näitä kerroksia ei kaivutyössä saa rikkoa. Kaivun yhteydessä bensiinillä saastunutta maaperää tulee välttää peittämästä sillä bensiiniä poistuu myös haihtumalla.



Kuva 32. Periaatepiirros öljyn kulkeutumisesta pohjavedessä (Hatva 1994).



Mikäli öljytuotteet pääsevät pohjaveteen asti, ne kulkeutuvat pohjavesifaasin pinnalla pohjavesivirtauksen mukana kuvan 32 mukaisesti. Öljyn kulkeutumisnopeus on siten muutamia metrejä vuorokaudessa. Helpoiten öljyisen pohjaveden poistaminen tapahtuu pumppaamalla pohjaveden pintakerroksen vettä massanvaihtoa varten kaivetusta montusta. Öljy- tai bensiinipitoiset vedet täytyy mahdollisuuksien mukaan kerätä tankkiautoon tai muuhun tiiviiseen säiliöön ja viedä öljyisille jätevesille tarkoitettuun puhdistuslaitokseen. Ellei säiliöön kerääminen ole mahdollista, öljypitoiset vedet täytyy johtaa suoalueelle pohjavesialueen ulkopuolelle. Pumppausta tulee jatkaa kunnes öljytuotteiden jäämiä pohjavedessä onnettomuuspaikalla ei enää ole havaittavissa. Ainakin aluksi pumppaustehon olisi oltava mahdollisimman suuri, jotta voitaisiin estää lika-aineiden leviäminen laajemmalle alueelle.

Jos maaperään merkittävänä määränä päässyt aine on muuta kuin öljytuotteita, voidaan keräily ja massanvaihtotyö tehdä samalla tavoin kuin öljytuotteille. Sen sijaan pumppausjärjestely riippuu siitä, millaiset aineen ominaisuudet vesifaasissa ovat ja puhdistusmenetelmät tulee suunnitella sen mukaisesti. Kemikaaleista saa tietoa esimerkiksi vesi- ja ympäristöhallituksen Kemikaalien ympäristötietopalvelusta.

### 14.3 Öljyvahingot soranottoalueilla

Toimenpiteet soranottoalueilla tapahtuvissa öljyvahingoissa riippuvat siitä, millä alueella onnettomuus tapahtuu ja minkälaisia määriä öljytuotteita pääsee pohjavesiin. Muutamien litrojen luokkaa olevat päästöt eivät aiheuta muita toimenpiteitä kuin öljyisen maan poistamisen ja asianmukaisen käsittelyn. Etäisyys vedenottamolle on niin pitkä, että pieni määrä öljyä adsorboituu maaperään aiheuttamatta pohjaveden öljypitoisuuden nousua.

Soranottoalueiden länsiosassa Heimo Ohtosen alueilla mahdollisesti tapahtuva öljyvahinko ei vedenottamon pohjaveden laadun kannalta aiheuta vaaraa. Luonnollisesti asianmukaiset keräilytyöt ja massanvaihdot on sielläkin suoritettava muiden ympäristöhaittojen minimoimiseksi.

Kuhmon Sora Ay:n ja Kuhmon Kuljetus Oy:n montuissa mahdollisesti tapahtuvat öljyvahingot voidaan torjua kuten maantien öljyvahingot massanvaihdoin ja pohjaveden pintakerroksen pumppauksella. Koska pohjavesipinnan päällä olevien maakerrosten paksuudet monttalueella



ovat pieniä, voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi myös suojaimeytystä. Suojaimeytys on toteutettava saastuneen maa-alan itäpuolelle eli pohjavesivirtauksen "alavirran" puolelle. Suojaimeytyksellä pyritään saamaan keinotekoinen vedenjakaja pohjavedenottamon ja saastuneen maa-alueen väliin. Imeytettävän pohjaveden on oltava ehdottomasti puhdasta ja sitä on oltava riittävän paljon. Sovelaita suojaimeytykseen tarvittavan veden ottopaikkoja ovat pohjavesiputki nro 4, Haulikkoradan, Tiirinniemen ja Liukkosen kaivot sekä Kesäteatterin kallioporakaivo. Imeytettävä vesi voidaan johtaa myös alueen ulkopuolelta. Kaatopaikkavesien vaikutusalueella olevien putkien vettä ei tule käyttää suojaimeytykseen, koska samalla levitettäisiin kaatopaikalta suotautuvia aineita. Ottopaikka ei myöskään saa olla saastuneen alueen ja vedenottamon välillä, koska imeytysveden pumppaus kiihdyttäisi samalla virtaamaa ottamolle päin eikä imeytyksestä saataisi mitään hyötyä.

#### 14.4 Hetesuolla käsiteltävien aineiden onnettomuudet

Hetesuolla mahdollisesti sattuvissa vahinkotapauksissa korostuu pumppaamon sulkemisen merkitys. Maaperään joutuneet lika-aineet Hetesuolla näkyvät nopeasti vedenottamon veden laadussa. Pumppauksen lopettaminen kääntää myös välittömästi virtaussuunnat luonnontilaisiksi eli ottamon kaakkoispuolella ottamolta pois päin. Virtauksen kääntymistä voidaan tehostaa havaintoputkesta nro 7 ja Komulaisen kaivosta tapahtuvilla pumppauksilla.

Ellei massanvaihtotöillä saada kaikkea likaantunutta maaperää poistettua, voidaan Hetesuolla vedenottamon kaakkoispuolella käyttää myös pystyeristystä akviferin poikki. Pystyeristyksellä katkaistaan kokonaan hydrologinen yhteys likaantunut maa-alueen ja vedenottamon väliltä. Tämä mahdollistaa vedenottamon hyväksikäytön likaantumisesta huolimatta. Väliaikainen eristäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi tiiviillä ponttiseinällä. Mikäli pystyeristyksestä täytyy tehdä pysyvä, on bentoniitin käyttö parempi ratkaisu. Vedenottokaivon siirtäminen Hetesuolta Multikankaan itäpäähän voi tällaisessa tilanteessa olla kuitenkin varmin ja edullisin ratkaisu.



## 15. Multikankaan jatkoseuranta ja -tutkimukset

Veden laadun seurantaohjelmaan kuuluvissa havaintoputkissa ei ole ollut merkittävää vuodenaikaisvaihtelua. Tämän takia kaatopaikan ympäristössä olevista putkista 1-4 voidaan jättää syysmääritykset pois. Hetesuolla olevissa havaintoputkissa laatuparametrien muutos on kuitenkin ollut viime vuosina voimakasta ja kaksi kertaa vuodessa tehtävää määrittystä voidaan pitää perusteltuna. Havaintoputki 6 on hyvin lähellä vedenottamo ja sen veden laatu on sama kuin ottamolla. Veden laadun määritykset tästä putkesta ovat melko turhia, sillä vastaavat muutokset näkyvät välittömästi myös vedenottamon vedessä.

Multikankaalle tulee asentaa kaksi uutta havaintoputkea, jotka liitetään vuosittaiseen veden laadun seurantaan. Putkien tulee olla halkaisijaltaan 50 tai 100 mm ja materiaaliltaan muovia. Siiviläosien tulisi olla vähintään kaksi metriä. Toinen putki asennetaan Kuhmon Sora Ay:n sora-ainemontun pohjalle harjun karkeaan ydinosaan putken 200 kaakkoispuolelle. Tästä putkesta voidaan havaita maa-ainesten ottoalueiden todellinen vaikutus veden laatuun sekä mahdollisesti selventää pohjaveden virtauskuvaa kesäteatterin ympäristössä. Toinen havaintoputki asennetaan Multikankaan itäpäähän putkien 20 ja 217 väliseen maastoon. Tämän putken avulla havaitaan Hetesuon todellinen vaikutus pohjaveden laatuun. Samalla tällä putkella voidaan selvittää oikeaa paikkaa Multikankaan itäpään mahdollisesti joskus asennettavalle kaivolle. Myös tämä putki tulee asentaa harjun karkearakeiseen ydinosaan.

Pohjavesipintojen seurannassa ei ole havaittu äkkinäisiä yllätyksiä. Tämän takia pinnankorkeuksien seuranta havaintoputkista voidaan haluttaessa harventaa joka toinen tai joka kolmas kuukausi tapahtuvaksi.

Tehtävät maaperätutkimukset tulisi jatkossa suunnata Multikankaan itäpään ja Kesäteatterin ympäristön tutkimuksiin. Kaatopaikan ympäristöä on tutkittu jo monipuolisesti ja todennäköisesti lisäinformaation saanti sieltä on vaikeaa. Maatutkaluotauksessa putken 18 pohjoispuolella näkyneen kallioruhjeen olemassaolo ja etelä-pohjoissuuntainen jatkuvuus olisi kuitenkin syytä varmistaa.



## Lähdeluettelo:

- AFEMS (The Association of European Manufactures of Sporting Ammunition) 1994. Leadshot and its use in hunting and sport shooting cartridges. OECD symposium on lead-based products. 5 p.
- Assmuth, T., Lääperi, O., Suokko, T. ja Strandberg T. 1989. Saastuneiden maa-alueiden kartoitusmenetelmät. Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston julkaisu. Sarja A. 120 s.
- Aurola, R. 1992. Terveystoimintalain (469/65) 26 §:n sijoituslupa. Sosiaali- ja terveyshallitus 30.6.1992. 15 s.
- Crawford, J.F. & Smith, P.G. 1985. Landfill technology. 159 p.
- Ekholm, R. 1994. Ilmakuva paljastaa saastekätköt. Tekniikka & Talous 29.9.1994. s. 23.
- Filip, Z., Kaddu-Mulindwa, D. & Milde, G. 1988. Survival of some pathogenic and facultative pathogenic bacteria in groundwater. Water science and technology, vol. 20, no.3, p. 227-231.
- Fyfe, W.S. 1993. Sustainable resources for ten billion. It is possible? Proc. Geologia Ambiental y Ordenación del Territorio, vol. 1, 27-32.
- Geo-Work Oy, 1994. Maatutkaluotaus Kuhmon kunnan Multikankaan pohjavesialueella 09.08.-94. Alkuperäiset profiilit.
- Gerba, C.P. and Bitton, G. 1984. Microbial pollutants: their survival and transport pattern to groundwater. Groundwater pollution microbiology. John Wiley & Sons Inc. p. 65-88.
- Granlund, K. ja Nystén T. 1991. Pohjavesimallit ja niiden soveltaminen. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja. Nro 286. 30 s.
- Hatva, T. 1989. Iron and manganese in groundwater in Finland: occurrence in glacifluvial aquifers and removal by biofiltration. Publications of the Water and Environment Research Institute n. 4. 99 p.
- Hatva, T. 1994. Pohjavesivarat ja niiden suojele. Vesitalous 1/1994. s. 20-33.
- Hatva, T., Hyyppä, J., Ikäheimo, J., Penttinen, H. ja Sandborg, M. 1993 a. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Raportti V: Soranotto ja pohjaveden suojele. Vesi- ja ympäristöhallitus, julkaisu B 15. 120 s.
- Hatva, T., Hyyppä, J., Ikäheimo, J., Penttinen, H. ja Sandborg, M. 1993 b. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Raportti VI: Pohjavesi ja soranotto. Ympäristöministeriö, Kaavoitus- ja rakennusosasto. Tutkimusraportti 1/1993. 58 s.
- Heiskanen, J. 1994. Dikloorimetaanin ja tri- ja tetrakloorieteenin käyttö ja ympäristövaikutukset. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 585. 57 s.



Howard, P.H. (editor) 1990. Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals, Volume II: Solvents, 2. printing. Dichloromethane. p. 176-183.

Huotari Hannu 1994. Suullinen tiedonanto. Kaupungininsinööri, Kuhmon Kaupunki.

Innala, T. 1994. Likaantuneen pohjaveden puhdistus. Vesihuoltotekniikan seminaari, TKK. 25 s.

Insinööritoimisto PSV Oy, 1994 a. Kuhmon keskustaajaman vedenhankinnan sekä lievealueiden vesihuollon yleissuunnitelma. Työ nro 311 038. 77 s.

Insinööritoimisto PSV Oy, 1994 b. Multikankaan hydrogeologinen kartoitus. Työ nro 400216. 4 s + liitteet.

Jacks, G., Kilhage, M., Magnusson, C. & Selvaseelan, A. 1994. The environmental cost of T-shirts. Future Groundwater resources at Risk. IAHS Publ. no.222. p.499-503.

Juntunen Matti 1994. Suullinen tiedonanto. Maarakennusmestari, Kuhmon kaupunki.

Jørgensen, S.S. & Willems, M. 1987. The fate of lead in soils: Lead originating from roofs of ancient churches. Ambio 16. p.16-19.

Kainuun vesipiirin vesitoimisto, 1981 a. Hetesuo ja Multikankaan pohjavedenotto- ja -kantojen tutkimukset, Kuhmo. Tutkimusraportti. TN:o 353 Kav 4:3. 39 s.

Kainuun vesipiirin vesitoimisto, 1981 b. Tärkeät pohjavesialueet, Kuhmon kunta. 13 s.

Kaupunkiliitto, 1982. Pohjaveden suojeleminen. Kaupunkiliiton julkaisu B93. 93 s.

Kemikalieinspektionen 1994. Kloroform. Kemi informerar. Kemiska ämnen. Februari 1994. 4 s.

Keränen, P. 1992. Kuhmon Multikankaan harjumuodostumalle sijoitetun kaatopikan pohjavesivai-  
kutukset. Tutkielma. Oulun yliopisto, Geologian laitos.

Kiviniemi Pekka 1994. Suullinen tiedonanto. Insinööri, Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri.

Kolari, M. ja Salkinoja-Salonen, M. 1993. Klooratut eteenit pohjavesien pilaajina. Vesitalous nro 2/1993. 6 s.

Komulainen Jukka 1994. Suullinen tiedonanto. Hetesuo vedenottamon ympärillä olevat  
peltoalueet omistava maanviljelijä.

Kovalainen, H. ja Haataja, O. 1994. Pohjavesitutkimukset Kainuun vesi- ja ympäristöpiirissä.  
Ympäristörakentaja nro 1/1994. s.18-20.

Korkein hallinto-oikeus 1994. Korkeimman hallinto-oikeuden päätös 27.6.1994. Taltio n:o 2983.  
Diaarin:o 5490/4/92. 14 s.

Kuusinen, K. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Tutkimusraportti IV. Mikrobin kulkeutu-  
minen maaperässä ja pohjavedessä. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 331.



- Käyhkö, T. 1994. Bentoniitti eristää myrkyt pohjavesistä. Tekniikka & Talous 29.9.1994. s. 24 - 25.
- Lahermo, P. 1975. Pohjaveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. Pohjavesien hyväksikäyttö ja suojelu. INSKO 125-75: VII. 23 s.
- Lance, J.C. 1984. Land disposal of sewage effluents and residues. Groundwater pollution microbiology. p.197-224.
- Laukkanen, R. 1992. Lika-aineiden leviäminen pohjavesissä ja mallitekniikka. Vesitalous 4/1992. s.18-22.
- Laukkanen, R., Saijonmaa, L. ja Niini, S. 1991. Pohjavesimallit päätöksenteon ja suunnittelun pohjana. Vesitalous 2/1991. s.19-35.
- Laukkanen Risto 1994. Suullinen tiedonanto. Professori, Teknillinen korkeakoulu, Vesihuolto-tekniikka.
- Leppänen Tapio 1994. Suullinen tiedonanto. FM, Geologi, Insinööritoimisto PSV Oy.
- Liukkonen Kirsi 1994. Suullinen tiedonanto. Ympäristönsuojelusihteeri, Kuhmon kaupunki.
- Liukkonen Osmo 1994. Suullinen tiedonanto.
- Luhtanen, R.(toim.) 1988. Vesilaki. Valtion painatuskeskus, Helsinki. 139 s.
- Maa ja Vesi Oy 1986. Multikankaan pohjavesialueen tarkkailu. 10.12.1986. Työ nro 061013.
- Maa ja Vesi Oy 1988. Hetesuoan vedenottamo. Johtolinja, vedenottamo, alkalointi. 13.4.1988. Työ nro 060950.
- Maa ja Vesi Oy 1989. Multikankaan kaatopaikan kunnostus. 20.11.1989. Työ nro 061007.
- Maa ja Vesi Oy 1992. Vedenottamoiden saneeraukseen liittyvät kloorifenoli- ym. tutkimukset. Työ nro 060694. 3 s.
- Miettinen, U. & Pöyhönen, A. 1993. Sorateiden kunnossapitoa tutkitaan. Kunnalliselämä nro 3-4 vol. 17. s.29-31.
- Naturvårdsverket 1989. Toluene, Metylbensen. Naturvårdsverket informerar. Kemiska ämnen. November 1989. 4 s.
- Ohtonen Heimo 1994. Suullinen tiedonanto. Maanviljelijä ja maa-ainesten ottaja.
- Pelkonen Markku 1994. Suullinen tiedonanto. Tutkija, Teknillinen korkeakoulu, Vesihuoltotekniikka.
- Piipponen Matti 1994. Suullinen tiedonanto. Kuhmon Sora Oy.



Pohjois-Suomen vesioikeus 1987. Hetesuo pohjavedenottamon rakentaminen ja pohjaveden ottaminen, Kuhmo, Korpisalmi. Päätos Nro 39/87/II. 8.9.1987. 13 s.

Pohjois-Suomen vesitutkimustoimisto Oy 1994. Juoma- ja talousvesinäytteen tutkimustulokset. Kuhmon kaupunki. Multikangas, pohjavesiputket. 23.5.1994. 2 s.

Reinikainen, A. & Tanskanen, J.H. 1992. Yhdyskuntajätteen kaatopaikan suotovesien käsittely-vaihtoehdot. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 443. 76 s.

RIVM & RIZA 1991. Sustainable Use of Groundwater. Problems and Threat in the European Communities. Report no. 600025001, Hague, Holland.

Sandborg, M. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Tutkimusraportti III. Vajovesitutkimukset. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 330. 127 s.

Scharp, C. 1994. Groundwater protection plan for the Managua aquifer - development of a planning tool. Future Groundwater Resources at Risk. IAHS Publ. no.222. p.443-450.

Tanskanen, H., Kukkonen, I. ja Kaija, J. 1990. Heavy metal pollution in the environment of a shooting range. Geological Survey of Finland, Special Paper 12. p.187-193, 1991.

Taskinen, J. 1994. Kaatopaikkojen suotovesien käsittely. Vesihuoltotekniikan seminaari, TKK. 32s.

Tielaitos 1991. Pohjaveden suojaaminen maatiivisteellä tien luiskassa. Tiehallitus, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 18/1991. 24 s.

Tielaitos, Kainuun piiri 1990. Maantien 900 parantaminen välillä Multikangas - Akonlahti. Pituusleikkaus plv. 3000 - 4400. 28.9.1990.

Tikkanen Seppo 1994. Suullinen tiedonanto. Maanmittausteknikko, Kuhmon kaupunki.

Tolonen Hannu 1994. Suullinen tiedonanto. Metsänhoitaja, Metsähallituksen Kuhmon hoitoalue.

Tolppanen, J. 1989. Saastuneiden maa-alueiden aiheuttaman pohjavesien likaantumisen arviointi. Vesi- ja ympäristöhallitus, monistesarja nro 197.

Tuovinen, J.P., Kangas, L., Nordlund, G. 1990. Model Calculations of Sulphur and Nitrogen Deposition in Finland. In: Kauppi, P., Anttila, P., Kenttämies K. (editors) Acidification of Finland. Springer-Verlag. Berlin.

Viitanen Pentti 1994. Suullinen tiedonanto. FM, Geologi, Insinööritoimisto PSV Oy.

Vihervuori, P. 1989. Maa-ainesten ottaminen ja suojele. Lakimiesliiton kustannus, Helsinki. 649s.

Villarroja, F. 1994. Regulatory issues mainly about aquifer overexploitation within the scope of sustainable development. Future Groundwater Resources at Risk. IAHS Publ. no.222. p.389-402.

Virtanen Jarmo 1994. Suullinen tiedonanto. Kemira Oy.



Vesi- ja ympäristöhallitus 1991 a. Maa-ainesten ottoon kohdistuva valvonta vesi- ja ympäristöviranomaisen kannalta. Valvontaohje nro 49. 15 s.

Vesi- ja ympäristöhallitus 1991 b. Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmat. Valvontaohje nro 65. 13s.

WHO (World Health Organization) 1993. Guidelines for drinking-water quality. Volume 1. Recommendations. Second Edition. 188 p.



# LIITE 1: Havaintoputkien sijainti

Mittakaava 1:20 000





# LIITE 2

## Multikankaan ja Hetesuoan havaintoputket ja -kaivot

Nro	Korko N60	Pv-pinta 6,7,94	16,8,94	Materiaali	Halkaisija mm	Siivilät m	Asennettu	Huom!
1 (I)	176,36	173,35	173,55	muovi	50	4,0	11/86	Teräksinen suojaputki
2 (II)	176,30	172,81	172,66	muovi	50	4,0	11/86	Teräksinen suojaputki
3 (III)	175,69	172,72	172,57	muovi	50	4,0	11/86	Teräksinen suojaputki
4 (IV)	174,07	172,42	172,28	muovi	50	4,0	11/86	Teräksinen suojaputki
5 (V)	177,80	167,74	167,62	rauta	32	2,0	11/86	
6 (VI)	169,90	165,91	165,74	muovi	50	8,0	11/86	Teräksinen suojaputki
7 (VII)	169,64	165,90	165,73	muovi	50	6,0	11/86	Teräksinen suojaputki
101	173,82	172,33	172,17	teräs	150	-	1/91	Pelkkä suojaputki
102	174,01	172,49	172,33	muovi	100	2,5	1/91	Teräksinen suojaputki
103	181,72	172,35	172,19	muovi	100	2,5	1/91	Teräksinen suojaputki
104	182,44	176,96	176,71	muovi	100	2,5	1/91	Teräksinen suojaputki
105	179,83	173,50	173,23	muovi	100	2,5	1/91	Tukkeutunut
106	183,32	172,75	172,59	muovi	100	2,5	1/91	Teräksinen suojaputki
107	174,93	172,67	172,50	muovi	100	2,5	1/91	Teräksinen suojaputki
108	176,07	172,66	172,52	muovi	100	2,5	1/91	Teräksinen suojaputki
8	174,96	172,55	172,41	rauta	50	1	-80	
11	174,15	172,47	172,29	rauta	50	1	-80	
12	174,93	176,64	172,48	rauta	32	1-2 ?	kesä -89	Alkup. korko väärä
13	179,94	176,58	176,39	rauta	32	1-2 ?	kesä -89	Alkup. korko väärä
17	178,69	173,08	172,89	rauta	32	1-2 ?	kesä -89	Alkup. korko väärä
18	175,49	172,63	172,48	rauta	32	1-2 ?	kesä -89	Alkup. korko väärä
19	174,33	172,60	172,43	rauta	32	1-2 ?	kesä -89	Alkup. korko väärä
20	171,33	166,81	166,58	rauta	50	1	-80	
22	169,76		165,67	rauta	50	1	-80	
23	169,77	165,85	165,70	rauta	50	1	-80	
30	177,59		174,49	rauta	50	1	-80	vanha nro 12
31	173,71		171,95	sinkitty	25			Heimo Ohtosen putki
32	172,48		170,44	sinkitty	25		8/94	Heimo Ohtosen putki
200	174,46		171,64	muovi	50		8/94	
201	180,60		167,45	muovi	50		8/94	
204			kuiva	muovi	50		8/94	putki ei yllä pv-pintaan
205	173,63		167,01	muovi	50		8/94	
206	177,85		172,42	muovi	50		8/94	
207	176,97		172,32	muovi	50		8/94	
210	175,37		172,54	muovi	50		8/94	
215	181,89		176,29	muovi	50		8/94	
216	173,49		170,57	muovi	50		8/94	
217	174,29		166,24	muovi	50		8/94	
Ottamo	170,56	165,86	165,74					
Tiirinniemi	168,69	166,96						
Liukkonen	170,46							
Haulikkor.	175,23	172,98	172,65					Korko puukanteen
Kesäteatt.	178,92	168,60	168,71	Kallioporakaivo I				Korko kansilaattaa



LIITE 3 Veden laadun vuosittaiset mediaanipitoisuudet

Pp 1		-87	-88	-89	-90	-91	-92	-93	-94
alkalitetti	mmol/l	4,84	4,01	3,40	2,31	2,67	4,01	4,84	5,19
kovuus	mmol/l	0,23	2,16	2,06	1,59	1,62	2,11	2,22	2,01
johtokyky	mS/m	69,8	69,3	65,5	50,4	48,2	67,7	69,1	68,7
CODMn	mg/l O <sub>2</sub>	13,5	11,0	9,8	9,3	9,5	12,1	14,7	15,4
CO <sub>2</sub>	mg/l	128	99	115	120	107	155	70	106
pH		6,7	6,6	6,6	6,7	6,7	6,6	7,0	6,8
väri	mg/l Pt	30	30	30	25	30	45	45	55
Fe	mg/l	0,64	0,08	0,06	0,05	0,07	0,14	0,27	0,60
Mn	mg/l	1,60	1,05	0,86	0,51	0,46	0,69	0,94	0,84
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	10	4,1	4,9	2,4	0,25	2,7	4,1	0,49
NO <sub>2</sub> -N	mg/l	0,03	0,023	0,012	0,008	0,003	0,003	0,008	0,006
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	5,7	4,4	4,5	1,35	1,5	0,47	0,15	0,07
Cl	mg/l	44	51	60	51	-	76	61	54

Pp 2		-87	-88	-89	-90	-91	-92	-93	-94
alkalitetti	mmol/l	5,73	5,32	4,89	5,76	5,02	4,74	4,56	4,36
kovuus	mmol/l	1,31	1,35	2,24	1,26	1,16	1,04	1,10	1,00
johtokyky	mS/m	84,4	89,3	84,0	97,0	80,2	75,5	70,7	69,6
CODMn	mg/l O <sub>2</sub>	11,5	10,9	11,0	11,9	10,8	10,1	9,7	9,4
CO <sub>2</sub>	mg/l	115	80	83	95	70	78	46	78
pH		6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	6,9	7,1	7,0
väri	mg/l Pt	30	35	40	40	50	50	35	30
Fe	mg/l	0,26	0,19	0,21	0,17	0,15	0,25	0,24	0,35
Mn	mg/l	0,67	0,67	0,75	0,85	0,71	0,65	0,73	0,89
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	19	2,2	15	17	0,45	7,8	7,7	7,7
NO <sub>2</sub> -N	mg/l	0,006	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,006	0,003	0,013	0,015
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0,70	1,25	1,10	1,00	1,30	0,99	1,04	1,40
Cl	mg/l	105	102	89	99	93	82	68	33

Pp 3		-87	-88	-89	-90	-91	-92	-93	-94
alkalitetti	mmol/l	0,76	0,88	0,76	0,73	0,92	1,04	0,84	0,69
kovuus	mmol/l	0,42	0,47	0,39	0,36	0,54	0,79	0,45	0,39
johtokyky	mS/m	15,4	15,9	12,2	13,3	16,1	19,2	12,9	12,1
CODMn	mg/l O <sub>2</sub>	0,5	0,6	0,5	0,5	< 0,5	0,5	0,5	< 0,5
CO <sub>2</sub>	mg/l	19	22	15	24	21	23	11	17
pH		6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	6,9	7,1	7,0
väri	mg/l Pt	5	< 5	5	< 5	5	5	5	< 5
Fe	mg/l	0,15	0,09	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,03
Mn	mg/l	0,03	0,03	< 0,005	0,01	< 0,005	0,005	0,008	< 0,005
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,11	0,15	0,01
NO <sub>2</sub> -N	mg/l	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0,43	0,57	0,55	0,79	0,59	0,53	0,41	0,44

Pp 4		-87	-88	-89	-90	-91	-92	-93	-94
alkalitetti	mmol/l	0,56	0,49	0,47	0,44	0,54	0,49	0,49	0,40
kovuus	mmol/l	0,25	0,25	0,26	0,20	0,25	0,25	0,24	0,20
johtokyky	mS/m	6,0	5,9	6,2	5,6	6,1	5,9	5,7	5,6
CODMn	mg/l O <sub>2</sub>	0,5	0,5	1,8	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,0
CO <sub>2</sub>	mg/l	4	5,5	5	6,5	6	6,5	5	5,5
pH		7,2	7,4	7,3	7,4	7,4	7,3	7,5	7,2
väri	mg/l Pt	< 5	< 5	5	5	5	5	5	< 5
Fe	mg/l	0,04	0,02	0,08	0,005	0,006	0,01	0,005	0,02
Mn	mg/l	0,03	0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,11	0,005
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
NO <sub>2</sub> -N	mg/l	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0,14	0,13	0,12	0,18	0,27	0,23	0,23	0,15



Pp 6		-87	-88	-89	-90	-91	-92	-93	-94
alkalitetti	mmol/l	0,42	0,41	0,43	0,47	0,54	0,54	0,63	0,59
kovuus	mmol/l	0,21	0,22	0,24	0,24	0,29	0,29	0,33	0,33
johtokyky	mS/m	4,9	5,4	5,7	6,2	6,5	6,6	7,4	8,2
CODMn	mg/l O2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
CO2	mg/l	4	5	5	8,5	8	8,5	6,5	10
pH		7,3	7,3	7,3	7,5	7,4	7,2	7,4	7,2
väri	mg/l Pt	5	< 5	5	5	5	5	5	< 5
Fe	mg/l	0,05	0,01	< 0,005	0,005	0,006	0,005	0,005	0,04
Mn	mg/l	0,02	0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,005
NH4-N	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
NO2-N	mg/l	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
NO3-N	mg/l	0,13	0,12	0,11	0,16	0,25	0,23	0,25	0,36

Pp 7		-87	-88	-89	-90	-91	-92	-93	-94
alkalitetti	mmol/l	0,43	0,41	0,44	0,50	0,96	1,03	1,10	0,86
kovuus	mmol/l	0,21	0,22	0,24	0,24	0,51	0,61	0,66	0,53
johtokyky	mS/m	5,1	5,4	5,8	6,1	10,9	13,3	14,1	13,7
CODMn	mg/l O2	1,0	0,5	1,8	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5
CO2	mg/l	5	5,5	5	8	20	20	16	24
pH		7,3	7,3	7,3	7,5	7,3	7,1	7,2	6,9
väri	mg/l Pt	< 5	5	5	5	5	5	< 5	< 5
Fe	mg/l	0,02	0,009	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	< 0,005	0,015
Mn	mg/l	0,02	0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,005
NH4-N	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
NO2-N	mg/l	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
NO3-N	mg/l	0,12	0,11	0,09	0,13	0,30	0,68	0,73	0,68

Raakavesi		-87	-88	-89	-90	-91	-92	-93	-94
alkalitetti	mmol/l				0,48	0,55	0,54	0,59	0,61
kovuus	mmol/l				0,24	0,25	0,27	0,30	0,34
johtokyky	mS/m				6,2	6,2	6,6	7,0	8,0
CODMn	mg/l O2				< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
CO2	mg/l				7	6	7,5	8,5	10
pH					7,2	6,9	7,2	7,1	7,1
väri	mg/l Pt				5	5	5	< 5	< 5
sameus	FTU				0,19	0,30	0,07	-	0,05
happi	mg/l				4,3	9,8	9,7	10,0	9,9
Fe	mg/l				< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Mn	mg/l				0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
NH4-N	mg/l				< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
NO2-N	mg/l				< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
NO3-N	mg/l				0,16	0,15	0,16	0,20	0,24
SO4	mg/l				4,0	4,1	4,7	4,5	4,3
Cl	mg/l				0,9	1,5	1,8	1,5	1,8



LIITE 4: Multikankaan pohjaveden  
riskitekijöiden sijainti

Mittakaava 1:20 000





Liite 5. Osoitteita ja puhelinnumeroita

	Työ	NMT	Koti
Kuhmon kaupunki	* 6556211		
Kainuuntie 82, PL 15	fax. 6556139		
88901 KUHMO			
Kaupungininsinööri Hannu Huotari	6556400	949-388039	6551426
Maarakennusmestari Matti Juntunen	6556450	949-167590	6530390
Työnjohtaja Tauno Heikkinen	6556461	949-167592	6550633
Rakennusmestari Esko Pulkkinen	6556461	949-167594	
Ympäristönsuojelus. Kirsi Liukkonen	6556402		
Rakennustarkastaja Martti Huotari	6556443		
Palopäällikkö Juhani Kampman	6556471	949-280921	6551554
Terveystark. Seppo Komulainen	6556675		6550591
Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri	* 61631		
Kalliokatu 4, PL 115	fax. 6163629		
87101 KAJAANI			
Ylitarkastaja Heikki Kovalainen	6163609	949-690097	
Insinööri Pekka Kiviniemi	6163619		
Vesi- ja ympäristöhallitus			
Kemikaalien ympäristötietopalvelu	90-6951301		
PL 250	fax. 90-6951381		
00101 HELSINKI			